La estructura de las revoluciones científicas

Thomas S. Kuhn



Para que el cultivo de la historia de la ciencia adquiera cabal sentido y rinda todos los frutos que promete, se impone el examen de ciertas coyunturas, propias del desenvolvimiento científico. La “revolución científica” es quizá la circunstancia en que el desarrollo de la ciencia exhibe su plena peculiaridad, sin que importe gran cosa de qué materia se trate o la época considerada.

El presente trabajo es un estudio, casi único en su género, de las “revoluciones científicas”. Basado en abundante material —principalmente en los campos de la física y la química—, procura esclarecer conceptos, corregir malentendidos y, en suma, demostrar la extraordinaria complejidad del mecanismo del progreso científico, cuando es examinado sin ideas preconcebidas: más de una sorpresa nos reserva este camino, más de un recoveco del análisis incita a protestar con vehemencia antes de quedar convencidos. A fin de cuentas, el itinerario que parecía simple y racional resulta ser complejo y proteico.

Thomas S. Kuhn



Thomas S. Kuhn

La estructura de las revoluciones científicas

ePub r1.1
Piolin 5.11.2014

Título original: *The Structure of Scientific Revolutions*
Thomas S. Kuhn, 1962
Traducción: Agustín Contin

Editor digital: Piolin
Primer editor:Kytano, Antwan (r1.0)
ePub base r1.2



A

James B. Conant,

que puso esto en marcha

Prefacio

EL ENSAYO que sigue es el primer informe publicado de modo íntegro de un proyecto concebido, originalmente, hace casi quince años. En esa época, yo era un estudiante graduado en física teórica, que estaba a punto de presentar mi tesis. Un compromiso afortunado con un curso de colegio experimental que presentaba las ciencias físicas para los no científicos, me puso en contacto, por primera vez, con la historia de la ciencia. Resultó para mí una sorpresa total el que ese contacto con teorías y prácticas científicas anticuadas socavara radicalmente algunos de mis conceptos básicos sobre la naturaleza de la ciencia y las razones que existían para su éxito específico.

Estas concepciones las había formado previamente, obteniéndolos en parte de la preparación científica misma y, en parte, de un antiguo interés recreativo por la filosofía de las ciencias. En cierto modo, fuera cual fuera su utilidad pedagógica y su plausibilidad abstracta, esas nociones no encajaban en absoluto en la empresa exhibida por el estudio histórico. Sin embargo, eran y son fundamentales para muchas discusiones científicas y, por consiguiente, parecía valer la pena ahondar más en sus fallas de verosimilitud. El resultado fue un cambio drástico en mis planes profesionales, un paso de la física a la historia de la ciencia y, luego, gradualmente, de los problemas históricos relativamente íntegros a las inquietudes más filosóficas, que me habían conducido, inicialmente, hacia la historia. Con excepción de unos cuantos artículos, este ensayo es el primero de mis libros publicados en que predominan esas preocupaciones iniciales. En cierto modo, es, principalmente, un esfuerzo para explicarme y explicar a mis amigos cómo fue que pasé de la ciencia a su historia.

Mi primera oportunidad para ahondar en algunas de las ideas que expreso más adelante, me fue proporcionada a través de tres años como *Junior Fellow* de la Society of Fellows de la Universidad de Harvard. Sin ese periodo de libertad, la transición a un nuevo campo de estudio hubiera sido mucho más difícil y, probablemente, no hubiera tenido lugar. Parte de mi tiempo, durante esos años, fue dedicado a la historia de la ciencia propiamente dicha. Principalmente, continué el estudio de los escritos de Alexandre Koyré y descubrí los de Emile Meyerson, Hélène Metzger y Anneliese Maier.[p-1] De manera más clara que la mayoría de los demás eruditos recientes, ese grupo muestra lo que significaba pensar científicamente en una época en la que los cánones del pensamiento científico eran muy diferentes de los actuales. Aun cuando pongo en tela de juicio, cada vez más, algunas de sus interpretaciones históricas particulares, sus obras, junto con *Great Chain of Being*, de A. O. Lovejoy, sólo han cedido el lugar preponderante a los materiales originales primarios, en la formación de mis conceptos sobre lo que puede ser la historia de las ideas científicas.

Gran parte de mi tiempo, durante esos años, lo pasé explorando campos que, aparentemente, carecían de relación con la historia de las ciencias, pero en los que sin embargo, en la actualidad, la investigación descubre problemas similares a los que la historia presentaba ante mi atención. Una nota encontrada, por casualidad, al pie de una página, me condujo a los experimentos por medio de los cuales, Jean Piaget, ha iluminado tanto los mundos diversos del niño en crecimiento como los procesos de transición de un mundo al siguiente.[p-2] Uno de mis colegas me animó a que leyera escritos sobre la psicología de la percepción, sobre todo de los psicólogos de la *Gestalt*; otro me presentó las especulaciones de B. L. Whorf acerca del efecto del lenguaje sobre la visión del mundo y W. V. O. Quine me presentó los problemas filosóficos relativos a la distinción analítico-sintética.[p-3] Éste es el tipo de exploración fortuita que permite la Society of Fellows y sólo por medio de ella pude descubrir la monografía casi desconocida de Ludwik Fleck, *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache* (Basilea, 1935), un ensayo que anticipaba muchas de mis propias ideas. Junto con una observación de otro *Junior Fellow*, Francis X. Sutton,

la obra de Fleck me hizo comprender que esas ideas podían necesitar ser establecidas en la sociología de la comunidad científica. Aunque los lectores descubrieran pocas referencias en el texto a esas obras o conversaciones, estoy en deuda con ellas en muchos más aspectos de los que puedo recordar o evaluar hoy.

Durante mi último año como *Junior Fellow*, una invitación del Instituto Lowell de Boston para dar conferencias me proporcionó la primera oportunidad de poner a prueba mi noción de la ciencia, la que todavía se encontraba en desarrollo. El resultado fue una serie de ocho conferencias públicas, pronunciadas durante el mes de marzo de 1951, sobre “La búsqueda de la teoría física”. Al año siguiente comencé propiamente a enseñar historia de la ciencia y, durante casi una década, los problemas de la enseñanza de una rama que nunca había estudiado sistemáticamente me dejaron poco tiempo para articular de modo explícito las ideas que me condujeron a ese campo. Afortunadamente, sin embargo, esas ideas resultaron una fuente de orientación implícita y, hasta cierto punto, de parte de la estructura problemática, para gran sector de mi enseñanza más avanzada. Tengo, por consiguiente, que agradecer a mis alumnos varias lecciones impagables, tanto sobre la viabilidad de mis opiniones como sobre las técnicas apropiadas para comunicarlas de manera eficaz. Los mismos problemas y esa misma orientación proporcionaron unidad a la mayoría de los estudios, predominantemente históricos y aparentemente diversos, que he publicado desde el final de mi época de becado. Varios de ellos tratan del papel integral desempeñado por una u otra metafísica en la investigación científica creadora. Otros examinan el modo como las bases experimentales de una nueva teoría se acumulan y son asimiladas por hombres fieles a una teoría incompatible y más antigua. En el proceso, describen el tipo de desarrollo que llamo, más adelante, “emergencia” de un descubrimiento o una teoría nuevos. Hay, además de eso, muchos otros vínculos de unión.

La etapa final del desarrollo de esta monografía comenzó con una invitación para pasar el año 1958-59 en el Centro de Estudios Avanzados sobre las Ciencias de la Conducta (Center for Advanced Studies in the Behavioral Sciences). Una vez más, estuve en condiciones de prestar una

indivisa atención a los problemas presentados más adelante. Lo más importante es que, el pasar un año en una comunidad compuesta, principalmente, de científicos sociales, hizo que me enfrentara a problemas imprevistos sobre las diferencias entre tales comunidades y las de los científicos naturales entre quienes había recibido mi preparación. Principalmente, me asombré ante el número y el alcance de los desacuerdos patentes entre los científicos sociales, sobre la naturaleza de problemas y métodos científicos aceptados. Tanto la historia como mis conocimientos me hicieron dudar de que quienes practicaban las ciencias naturales poseyeran respuestas más firmes o permanentes para esas preguntas que sus colegas en las ciencias sociales. Sin embargo, hasta cierto punto, la práctica de la astronomía, de la física, de la química o de la biología, no evoca, normalmente, las controversias sobre fundamentos que, en la actualidad, parecen a menudo endémicas, por ejemplo, entre los psicólogos o los sociólogos. Al tratar de descubrir el origen de esta diferencia, llegué a reconocer el papel desempeñado en la investigación científica por lo que, desde entonces, llamo “paradigmas”. Considero a éstos como realizaciones científicas universalmente reconocidas que, durante cierto tiempo, proporcionan modelos de problemas y soluciones a una comunidad científica. En cuanto ocupó su lugar esta pieza de mi rompecabezas, surgió rápidamente un bosquejo de este ensayo.

No es necesario explicar aquí la historia subsiguiente de ese bosquejo; pero es preciso decir algo sobre la forma en que se ha preservado después de todas las revisiones. Hasta que terminé la primera versión, que en gran parte fue revisada, pensé que el manuscrito aparecería, exclusivamente, como un volumen de la *Enciclopedia de Ciencia Unificada*. Los redactores de esta obra precursora me habían solicitado primeramente este ensayo; luego, me respaldaron firmemente y, al final, esperaron el resultado con tacto y paciencia extraordinarios. Les estoy muy agradecido, principalmente a Charles Morris, por darme el estímulo que necesitaba y por sus consejos sobre el manuscrito resultante. No obstante, los límites de espacio de la *Enciclopedia* hicieron necesario que presentara mis opiniones en forma esquemática y extremadamente condensada. Aunque sucesos posteriores amortiguaron esas restricciones e hicieron posible una publicación

independiente simultánea, esta obra continúa siendo un ensayo, más que el libro de escala plena que exigirá finalmente el tema que trato.

Puesto que mi objetivo fundamental es demandar con urgencia un cambio en la percepción y la evaluación de los datos conocidos, no ha de ser un inconveniente el carácter esquemático de esta primera presentación. Por el contrario, los lectores a los que sus propias investigaciones hayan preparado para el tipo de reorientación por el que abogamos en esta obra pueden hallar la forma de ensayo más sugestiva y fácil de asimilar. No obstante, tiene también desventajas y ellas pueden justificar el que ilustre, desde el comienzo mismo, los tipos de ampliaciones, tanto en el alcance como en la profundidad, que, eventualmente, deseo incluir en una versión más larga. Existen muchas más pruebas históricas que las que he tenido espacio para desarrollar en este libro. Además, esas pruebas proceden tanto de la historia de las ciencias biológicas como de la de las físicas. Mi decisión de ocuparme aquí exclusivamente de la última fue tomada, en parte, para aumentar la coherencia de este ensayo y también, en parte, sobre bases de la competencia actual. Además, la visión de la ciencia que vamos a desarrollar sugiere la fecundidad potencial de cantidad de tipos nuevos de investigación, tanto histórica como sociológica. Por ejemplo, la forma en que las anomalías o las violaciones a aquello que es esperado atraen cada vez más la atención de una comunidad científica, exige una estudio detallado del mismo modo que el surgimiento de las crisis que pueden crearse debido al fracaso repetido en el intento de hacer que una anomalía pueda ser explicada. O también, si estoy en lo cierto respecto a que cada revolución científica modifica la perspectiva histórica de la comunidad que la experimenta, entonces ese cambio de perspectiva deberá afectar la estructura de los libros de texto y las publicaciones de investigación posteriores a dicha revolución. Es preciso estudiar un efecto semejante —un cambio de distribución de la literatura técnica citada en las notas al calce de los informes de investigación— como indicio posible sobre el acaecimiento de las revoluciones.

La necesidad de llevar a cabo una condensación drástica me ha obligado también a renunciar a la discusión de numerosos problemas importantes. Por ejemplo, la distinción que hago entre los periodos anteriores y

posteriores a un paradigma en el desarrollo de una ciencia, es demasiado esquemática. Cada una de las escuelas cuya competencia caracteriza el primer periodo es guiada por algo muy similar a un paradigma; hay también circunstancias, aunque las considero raras, en las que pueden coexistir pacíficamente dos paradigmas en el último periodo. La posesión simple de un paradigma no constituye un criterio suficiente para la transición de desarrollo que veremos en la Sección II. Lo que es más importante, no he dicho nada, excepto en breves comentarios colaterales, sobre el papel desempeñado por el progreso tecnológico o por las condiciones externas, sociales, económicas e intelectuales, en el desarrollo de las ciencias. Sin embargo, no hay que pasar de Copérnico y del calendario para descubrir que las condiciones externas pueden contribuir a transformar una simple anomalía en origen de una crisis aguda. El mismo ejemplo puede ilustrar el modo en que las condiciones ajenas a las ciencias pueden afectar el cuadro disponible de posibilidades para el hombre que trata de poner fin a una crisis, proponiendo alguna reforma revolucionaria.[p-4] La consideración explícita de efectos como éstos no modificará, creo yo, las principales tesis desarrolladas en este ensayo; pero, seguramente, añadiría una dimensión analítica de importancia primordial para la comprensión del progreso científico.

Finalmente, quizá lo más importante de todo, las limitaciones de espacio han afectado drásticamente el tratamiento que hago de las implicaciones filosóficas de la visión de la ciencia, históricamente orientada, de este ensayo. Desde luego, existen esas implicaciones y he tratado tanto de indicar las principales como de documentarlas. No obstante, al hacerlo así, usualmente he evitado discutir, de manera detallada, las diversas posiciones tomadas por filósofos contemporáneos sobre los temas correspondientes. Donde he indicado escepticismo, con mayor frecuencia, lo he enfocado a la actitud filosófica y no a cualquiera de sus expresiones plenamente articuladas. Como resultado de ello, algunos de los que conocen y trabajan dentro de una de esas posiciones articuladas puede tener la sensación de que no he logrado comprender su punto de vista. Considero que sería una equivocación, pero este ensayo no tiene el fin de

convencerlos de lo contrario. Para ello hubiera sido preciso un libro mucho más amplio y de tipo muy diferente.

Los fragmentos autobiográficos con que inicio este prefacio servirán para dar testimonio de lo que reconozco como mi deuda principal tanto hacia los libros de eruditos como a las instituciones que contribuyeron a dar forma a mis pensamientos. Trataré de descargar el resto de esa deuda, mediante citas en las páginas que siguen. Sin embargo, nada de lo que digo antes o de lo que expresaré más adelante puede dar algo más que una ligera idea sobre el número y la naturaleza de mis obligaciones personales hacia los numerosos individuos cuyas sugestiones y críticas, en uno u otro momento, han respaldado o dirigido mi desarrollo intelectual. Ha pasado demasiado tiempo desde que comenzaron a tomar forma las ideas expresadas en este ensayo; una lista de todos aquellos que pudieran encontrar muestras de su influencia en estas páginas casi correspondería a una lista de mis amigos y conocidos. En esas circunstancias, debo limitarme al corto número de influencias principales que ni siquiera una memoria que falla suprimirá completamente.

Fue James B. Conant, entonces presidente de la Universidad de Harvard, quien me introdujo por vez primera en la historia de la ciencia y, así, inició la transformación en el concepto que tenía de la naturaleza del progreso científico. Desde que se inició ese proceso, se ha mostrado generoso con sus ideas, sus críticas y su tiempo, incluyendo el necesario para leer y sugerir cambios importantes al bosquejo de mi manuscrito. Leonard K. Nash, con quien, durante cinco años, di el curso orientado históricamente que había iniciado el doctor Conant, fue un colaborador todavía más activo durante los años en que mis ideas comenzaron a tomar forma y mucho lo he echado de menos durante las últimas etapas del desarrollo de éstas. Sin embargo, afortunadamente, después de mi partida de Cambridge, su lugar como creadora caja de resonancia, y más que ello, fue ocupado por mi colega de Berkeley, Stanley Cavell. El que Cavell, un filósofo interesado principalmente en la ética y la estética, haya llegado a conclusiones tan en consonancia con las mías, ha sido una fuente continua de estímulo y aliento para mí. Además, es la única persona con la que he podido explorar mis ideas por medio de frases incompletas. Este modo de

comunicación pone de manifiesto una comprensión que le permitió indicarme el modo en que debía salvar o rodear algunos obstáculos importantes que encontré, durante la preparación de mi primer manuscrito.

Desde que escribí esta versión, muchos otros amigos me han ayudado con sus críticas. Creo que me excusarán si sólo nombro a los cuatro cuyas contribuciones resultaron más decisivas y profundas: Paul K. Feyerabend de Berkeley, Ernest Nagel de Columbia, H. Pierre Noyes del Laboratorio de Radiación Lawrence y mi discípulo John L. Heilbron, que ha colaborado, a menudo, estrechamente conmigo al preparar una versión final para la imprenta. Todas sus reservas y sugestiones me han sido muy útiles; pero no tengo razones para creer (y sí ciertas razones para dudar) que cualquiera de ellos, o de los que mencioné antes, apruebe completamente el manuscrito resultante.

Mi agradecimiento final a mis padres, esposa e hijos, debe ser de un tipo diferente. De maneras que, probablemente, seré el último en reconocer, cada uno de ellos ha contribuido con ingredientes intelectuales a mi trabajo. Pero, en grados diferentes, han hecho también algo mucho más importante. Han permitido que siguiera adelante e, incluso, han fomentado la devoción que tenía hacia mi trabajo. Cualquiera que se haya esforzado en un proyecto como el mío sabrá reconocer lo que, a veces, les habrá costado hacerlo. No sé cómo darles las gracias.

T. S. K.
Berkeley, California.

I. Introducción: un papel para la historia

SI SE CONSIDERA a la historia como algo más que un depósito de anécdotas o cronología, puede producir una transformación decisiva de la imagen que tenemos actualmente de la ciencia. Esa imagen fue trazada previamente, incluso por los mismos científicos, sobre todo a partir del estudio de los logros científicos llevados a cabo, que se encuentran en las lecturas clásicas y, más recientemente, en los libros de texto con los que cada una de las nuevas generaciones de científicos aprende a practicar su profesión. Sin embargo, es inevitable que la finalidad de esos libros sea persuasiva y pedagógica; un concepto de la ciencia que se obtenga de ellos no tendrá más probabilidades de ajustarse al ideal que los produjo, que la imagen que pueda obtenerse de una cultura nacional mediante un folleto turístico o un texto para el aprendizaje del idioma. En este ensayo tratamos de mostrar que hemos sido mal conducidos por ellos en aspectos fundamentales. Su finalidad es trazar un bosquejo del concepto absolutamente diferente de la ciencia que puede surgir de los registros históricos de la actividad de investigación misma.

Sin embargo, incluso a partir de la historia, ese nuevo concepto no surgiría si continuáramos buscando y estudiando los datos históricos con el único fin de responder a las preguntas planteadas por el estereotipo no histórico que procede de los libros de texto científicos. Por ejemplo, esos libros de texto dan con frecuencia la sensación de implicar que el contenido de la ciencia está ejemplificado solamente mediante las observaciones, leyes y teorías que se describen en sus páginas. De manera casi igual de regular, los mismos libros se interpretan como si dijeran que los métodos científicos son simplemente los ilustrados por las técnicas de manipulación

utilizadas en la reunión de datos para el texto, junto con las operaciones lógicas empleadas para relacionar esos datos con las generalizaciones teóricas del libro de texto en cuestión. El resultado ha sido un concepto de la ciencia con profundas implicaciones sobre su naturaleza y su desarrollo.

Si la ciencia es la constelación de hechos, teorías y métodos reunidos en los libros de texto actuales, entonces los científicos son hombres que, obteniendo o no buenos resultados, se han esforzado en contribuir con alguno que otro elemento a esa constelación particular. El desarrollo científico se convierte en el proceso gradual mediante el que esos conceptos han sido añadidos, solos y en combinación, al caudal creciente de la técnica y de los conocimientos científicos, y la historia de la ciencia se convierte en una disciplina que relata y registra esos incrementos sucesivos y los obstáculos que han inhibido su acumulación. Al interesarse por el desarrollo científico, el historiador parece entonces tener dos tareas principales. Por una parte, debe determinar por qué hombre y en qué momento fue descubierto o inventado cada hecho, ley o teoría científica contemporánea. Por otra, debe describir y explicar él conjunto de errores, mitos y supersticiones que impidieron una acumulación más rápida de los componentes del caudal científico moderno. Muchas investigaciones han sido encaminadas hacia estos fines y todavía hay algunas que lo son.

Sin embargo, durante los últimos años, unos cuantos historiadores de la ciencia han descubierto que les es cada vez más difícil desempeñar las funciones que el concepto del desarrollo por acumulación les asigna. Como narradores de un proceso en incremento, descubren que las investigaciones adicionales hacen que resulte más difícil, no más sencillo, el responder a preguntas tales como: ¿Cuándo se descubrió el oxígeno? ¿Quién concibió primeramente la conservación de la energía? Cada vez más, unos cuantos de ellos comienzan a sospechar que constituye un error el plantear ese tipo de preguntas. Quizá la ciencia no se desarrolla por medio de la acumulación de descubrimientos e inventos individuales. Simultáneamente, esos mismos historiadores se enfrentan a dificultades cada vez mayores para distinguir el componente “científico” de las observaciones pasadas, y las creencias de lo que sus predecesores se apresuraron a tachar de “error” o “superstición”. Cuanto más cuidadosamente estudian, por ejemplo, la dinámica aristotélica,

la química flogística o la termodinámica calórica, tanto más seguros se sienten de que esas antiguas visiones corrientes de la naturaleza, en conjunto, no son ni menos científicas, ni más el producto de la idiosincrasia humana, que las actuales. Si esas creencias anticuadas deben denominarse mitos, entonces éstos se pueden producir por medio de los mismos tipos de métodos y ser respaldados por los mismos tipos de razones que conducen, en la actualidad, al conocimiento científico. Por otra parte, si debemos considerarlos como ciencia, entonces ésta habrá incluido conjuntos de creencias absolutamente incompatibles con las que tenemos en la actualidad. Entre esas posibilidades, el historiador debe escoger la última de ellas. En principio, las teorías anticuadas no dejan de ser científicas por el hecho de que hayan sido descartadas. Sin embargo, dicha opción hace difícil poder considerar el desarrollo científico como un proceso de acumulación. La investigación histórica misma que muestra las dificultades para aislar inventos y descubrimientos individuales proporciona bases para abrigar dudas profundas sobre el proceso de acumulación, por medio del que se creía que habían surgido esas contribuciones individuales a la ciencia.

El resultado de todas estas dudas y dificultades es una revolución historiográfica en el estudio de la ciencia, aunque una revolución que se encuentra todavía en sus primeras etapas. Gradualmente, y a menudo sin darse cuenta cabal de que lo están haciendo así, algunos historiadores de las ciencias han comenzado a plantear nuevos tipos de preguntas y a trazar líneas diferentes de desarrollo para las ciencias que, frecuentemente, nada tienen de acumulativas. En lugar de buscar las contribuciones permanentes de una ciencia más antigua a nuestro caudal de conocimientos, tratan de poner de manifiesto la integridad histórica de esa ciencia en su propia época. Por ejemplo, no se hacen preguntas respecto a la relación de las opiniones de Galileo con las de la ciencia moderna, sino, más bien, sobre la relación existente entre sus opiniones y las de su grupo, o sea: sus maestros, contemporáneos y sucesores inmediatos en las ciencias. Además, insisten en estudiar las opiniones de ese grupo y de otros similares, desde el punto de vista —a menudo muy diferente del de la ciencia moderna— que concede a esas opiniones la máxima coherencia interna y el ajuste más

estrecho posible con la naturaleza. Vista a través de las obras resultantes, que, quizá, estén mejor representadas en los escritos de Alexandre Koyré, la ciencia no parece en absoluto la misma empresa discutida por los escritores pertenecientes a la antigua tradición historiográfica. Por implicación al menos, esos estudios históricos sugieren la posibilidad de una imagen nueva de la ciencia. En este ensayo vamos a tratar de trazar esa imagen, estableciendo explícitamente algunas de las nuevas implicaciones historiográficas.

¿Qué aspecto de la ciencia será el más destacado durante ese esfuerzo? El primero, al menos en orden de presentación, es el de la insuficiencia de las directrices metodológicas, para dictar, por sí mismas, una conclusión substantiva única a muchos tipos de preguntas científicas. Si se le dan instrucciones para que examine fenómenos eléctricos o químicos, el hombre que no tiene conocimientos en esos campos, pero que sabe qué es ser científico, puede llegar, de manera legítima, a cualquiera de una serie de conclusiones incompatibles. Entre esas posibilidades aceptables, las conclusiones particulares a que llegue estarán determinadas, probablemente, por su experiencia anterior en otros campos, por los accidentes de su investigación y por su propia preparación individual. ¿Qué creencias sobre las estrellas, por ejemplo, trae al estudio de la química o la electricidad? ¿Cuál de los muchos experimentos concebibles apropiados al nuevo campo elige para llevarlo a cabo antes que los demás? ¿Y qué aspectos del fenómeno complejo que resulta le parecen particularmente importantes para elucidar la naturaleza del cambio químico o de la afinidad eléctrica? Para el individuo al menos, y a veces también para la comunidad científica, las respuestas a preguntas tales como ésas son, frecuentemente, determinantes esenciales del desarrollo científico. Debemos notar, por ejemplo, en la Sección II, que las primeras etapas de desarrollo de la mayoría de las ciencias se han caracterizado por una competencia continua entre una serie de concepciones distintas de la naturaleza, cada una de las cuales se derivaba parcialmente de la observación y del método científicos y, hasta cierto punto, todas eran compatibles con ellos. Lo que diferenciaba a esas escuelas no era uno u otro error de método —todos eran “científicos”— sino lo que llegaremos a denominar sus modos inconmensurables de ver el

mundo y de practicar en él las ciencias. La observación y la experiencia pueden y deben limitar drásticamente la gama de las creencias científicas admisibles o, de lo contrario, no habría ciencia. Pero, por sí solas, no pueden determinar un cuerpo particular de tales creencias. Un elemento aparentemente arbitrario, compuesto de incidentes personales e históricos, es siempre uno de los ingredientes de formación de las creencias sostenidas por una comunidad científica dada en un momento determinado.

Sin embargo, este elemento arbitrario no indica que cualquier grupo científico podría practicar su profesión sin un conjunto dado de creencias recibidas. Ni hace que sea menos importante la constelación particular que profese efectivamente el grupo, en un momento dado. La investigación efectiva apenas comienza antes de que una comunidad científica crea haber encontrado respuestas firmes a preguntas tales como las siguientes: ¿Cuáles son las entidades fundamentales de que se compone el Universo? ¿Cómo interactúan esas entidades, unas con otras y con los sentidos? ¿Qué preguntas pueden plantearse legítimamente sobre esas entidades y qué técnicas pueden emplearse para buscar las soluciones? Al menos en las ciencias maduras, las respuestas (o substitutos completos de ellas) a preguntas como ésas se encuentran enclavadas firmemente en la iniciación educativa que prepara y da licencia a los estudiantes para la práctica profesional. Debido a que esta educación es tanto rigurosa como rígida, esas respuestas llegan a ejercer una influencia profunda sobre la mentalidad científica. El que puedan hacerlo, justifica en gran parte tanto la eficiencia peculiar de la actividad investigadora normal como la de la dirección que siga ésta en cualquier momento dado. Finalmente, cuando examinemos la ciencia normal en las Secciones III, IV y V, nos gustaría describir esta investigación como una tentativa tenaz y ferviente de obligar a la naturaleza a entrar en los cuadros conceptuales proporcionados por la educación profesional. Al mismo tiempo, podemos preguntarnos si la investigación podría llevarse a cabo sin esos cuadros, sea cual fuere el elemento de arbitrariedad que forme parte de sus orígenes históricos y, a veces, de su desarrollo subsiguiente.

Sin embargo, ese elemento de arbitrariedad se encuentra presente y tiene también un efecto importante en el desarrollo científico, que

examinaremos detalladamente en las Secciones VI, VII y VIII. La ciencia normal, la actividad en que, inevitablemente, la mayoría de los científicos consumen casi todo su tiempo, se predica suponiendo que la comunidad científica sabe cómo es el mundo. Gran parte del éxito de la empresa se debe a que la comunidad se encuentra dispuesta a defender esa suposición, si es necesario a un costo elevado. Por ejemplo, la ciencia normal suprime frecuentemente innovaciones fundamentales, debido a que resultan necesariamente subversivas para sus compromisos básicos. Sin embargo, en tanto esos compromisos conservan un elemento de arbitrariedad, la naturaleza misma de la investigación normal asegura que la innovación no será suprimida durante mucho tiempo. A veces, un problema normal, que debería resolverse por medio de reglas y procedimientos conocidos, opone resistencia a los esfuerzos reiterados de los miembros más capaces del grupo dentro de cuya competencia entra. Otras veces, una pieza de equipo, diseñada y construida para fines de investigación normal, no da los resultados esperados, revelando una anomalía que, a pesar de los esfuerzos repetidos, no responde a las esperanzas profesionales. En esas y en otras formas, la ciencia normal se extravía repetidamente. Y cuando lo hace —o sea, cuando la profesión no puede pasar por alto ya las anomalías que subvierten la tradición existente de prácticas científicas— se inician las investigaciones extraordinarias que conducen por fin a la profesión a un nuevo conjunto de compromisos, una base nueva para la práctica de la ciencia. Los episodios extraordinarios en que tienen lugar esos cambios de compromisos profesionales son los que se denominan en este ensayo revoluciones científicas. Son los complementos que rompen la tradición a la que está ligada la actividad de la ciencia normal.

Los ejemplos más evidentes de revoluciones científicas son los episodios famosos del desarrollo científico que, con frecuencia, han sido llamados anteriormente revoluciones. Por consiguiente, en las Secciones IX y X, donde examinaremos directamente, por primera vez, la naturaleza de las revoluciones científicas, nos ocuparemos repetidas veces de los principales puntos de viraje del desarrollo científico, asociados a los nombres de Copérnico, Newton, Lavoisier y Einstein. De manera más clara que la mayoría de los demás episodios de la historia de, al menos, las

ciencias físicas, éstos muestran lo que significan todas las revoluciones científicas. Cada una de ellas necesitaba el rechazo, por parte de la comunidad, de una teoría científica antes reconocida, para adoptar otra incompatible con ella. Cada una de ellas producía un cambio consiguiente en los problemas disponibles para el análisis científico y en las normas por las que la profesión determinaba qué debería considerarse como problema admisible o como solución legítima de un problema. Y cada una de ellas transformaba la imaginación científica en modos que, eventualmente, deberemos describir como una transformación del mundo en que se llevaba a cabo el trabajo científico. Esos cambios, junto con las controversias que los acompañan casi siempre, son las características que definen las revoluciones científicas.

Esas características surgen, con una claridad particular, por ejemplo, de un estudio de la revolución de Newton o de la de la química. Sin embargo, es tesis fundamental de este ensayo que también podemos encontrarlas por medio del estudio de muchos otros episodios que no fueron tan evidentemente revolucionarios. Para el grupo profesional, mucho más reducido, que fue afectado por ellas, las ecuaciones de Maxwell fueron tan revolucionarias como las de Einstein y encontraron una resistencia concordante. La invención de otras nuevas teorías provoca, de manera regular y apropiada, la misma respuesta por parte de algunos de los especialistas cuyo especial campo de competencia infringen. Para esos hombres, la nueva teoría implica un cambio en las reglas que regían la práctica anterior de la ciencia normal. Por consiguiente, se refleja inevitablemente en gran parte del trabajo científico que ya han realizado con éxito. Es por esto por lo que una nueva teoría, por especial que sea su gama de aplicación, raramente, o nunca, constituye sólo un incremento de lo que ya se conoce. Su asimilación requiere la reconstrucción de teoría anterior y la reevaluación de hechos anteriores; un proceso intrínsecamente revolucionario, que es raro que pueda llevar a cabo por completo un hombre solo y que nunca tiene lugar de la noche a la mañana. No es extraño que los historiadores hayan tenido dificultades para atribuir fechas precisas a este proceso amplio que su vocabulario les impele a considerar como un suceso aislado.

Las nuevas invenciones de teorías no son tampoco los únicos sucesos científicos que tienen un efecto revolucionario sobre los especialistas en cuyo campo tienen lugar. Los principios que rigen la ciencia normal no sólo especifican qué tipos de entidades contiene el Universo, sino también, por implicación, los que no contiene. De ello se desprende, aunque este punto puede requerir una exposición amplia, que un descubrimiento como el del oxígeno o el de los rayos X no se limita a añadir un concepto nuevo a la población del mundo de los científicos. Tendrá ese efecto en última instancia, pero no antes de que la comunidad profesional haya reevaluado los procedimientos experimentales tradicionales, alterado su concepto de las entidades con las que ha estado familiarizada durante largo tiempo y, en el curso del proceso, modificado el sistema teórico por medio del que se ocupa del mundo. Los hechos y las teorías científicas no son categóricamente separables, excepto quizá dentro de una tradición única de una práctica científica normal. Por eso el descubrimiento inesperado no es simplemente real en su importancia y por eso el mundo científico es transformado desde el punto de vista cualitativo y enriquecido cuantitativamente por las novedades fundamentales aportadas por hecho o teoría.

Esta concepción amplia de la naturaleza de las revoluciones científicas es la que delineamos en las páginas siguientes. Desde luego, la extensión deforma el uso habitual. Sin embargo, continuaré hablando incluso de los descubrimientos como revolucionarios, porque es precisamente la posibilidad de relacionar su estructura con la de, por ejemplo, la revolución de Copérnico, lo que hace que la concepción amplia me parezca tan importante. La exposición anterior indica cómo van a desarrollarse las nociones complementarias de la ciencia normal y de las revoluciones científicas, en las nueve secciones que siguen inmediatamente. El resto del ensayo trata de vérselas con tres cuestiones centrales que quedan. La Sección XI, al examinar la tradición del libro de texto, pondera por qué han sido tan difíciles de comprender anteriormente las revoluciones científicas. La Sección XII describe la competencia revolucionaria entre los partidarios de la antigua tradición científica normal y los de la nueva. Así, examina el proceso que, en cierto modo, debe reemplazar, en una teoría de la investigación científica, a los procedimientos de confirmación o denegación

que resultan familiares a causa de nuestra imagen usual de la ciencia. La competencia entre fracciones de la comunidad científica es el único proceso histórico que da como resultado, en realidad, el rechazo de una teoría previamente aceptada o la adopción de otra. Finalmente, en la Sección XIII, planteamos la pregunta de cómo el desarrollo por medio de las revoluciones puede ser compatible con el carácter aparentemente único del progreso científico. Sin embargo, para esta pregunta, el ensayo sólo proporcionará los trazos generales de una respuesta, que depende de las características de la comunidad científica y que requiere mucha exploración y estudio complementarios.

Indudablemente, algunos lectores se habrán preguntado ya si el estudio histórico puede efectuar el tipo de transformación conceptual hacia el que tendemos en esta obra. Se encuentra disponible todo un arsenal de dicotomías, que sugieren que ello no puede tener lugar de manera apropiada. Con demasiada frecuencia, decimos que la historia es una disciplina puramente descriptiva. Sin embargo, las tesis que hemos sugerido son, a menudo, interpretativas y, a veces, normativas. Además, muchas de mis generalizaciones se refieren a la sociología o a la psicología social de los científicos; sin embargo, al menos unas cuantas de mis conclusiones, corresponden tradicionalmente a la lógica o a la epistemología. En el párrafo precedente puede parecer incluso que he violado la distinción contemporánea, muy influyente, entre "el contexto del descubrimiento" y "el contexto de la justificación". ¿Puede indicar algo, sino una profunda confusión, esta mezcla de campos e intereses diversos?

Habiendo estado intelectualmente formado en esas distinciones y otras similares, difícilmente podría resultarme más evidente su importancia y su fuerza. Durante muchos años las consideré casi como la naturaleza del conocimiento y creo todavía que, reformuladas de manera apropiada, tienen algo importante que comunicarnos. Sin embargo, mis tentativas para aplicarlas, incluso *grosso modo*, a las situaciones reales en que se obtienen, se aceptan y se asimilan los conocimientos, han hecho que parezcan extraordinariamente problemáticas. En lugar de ser distinciones lógicas o metodológicas elementales que, por ello, serían anteriores al análisis del conocimiento científico, parecen ser, actualmente, partes integrantes de un

conjunto tradicional de respuestas substantivas a las preguntas mismas sobre las que han sido desplegadas. Esta circularidad no las invalida en absoluto, sino que las convierte en partes de una teoría y, al hacerlo, las sujeta al mismo escrutinio aplicado regularmente a las teorías en otros campos. Para que su contenido sea algo más que pura abstracción, ese contenido deberá descubrirse, observándolas en su aplicación a los datos que se supone que deben elucidar. ¿Cómo podría dejar de ser la historia de la ciencia una fuente de fenómenos a los que puede pedirse legítimamente que se apliquen las teorías sobre el conocimiento?

II. El camino hacia la ciencia normal

EN ESTE ensayo, 'ciencia normal' significa investigación basada firmemente en una o más realizaciones científicas pasadas, realizaciones que alguna comunidad científica particular reconoce, durante cierto tiempo, como fundamento para su práctica posterior. En la actualidad, esas realizaciones son relatadas, aunque raramente en su forma original, por los libros de texto científicos, tanto elementales como avanzados. Esos libros de texto exponen el cuerpo de la teoría aceptada, ilustran muchas o todas sus aplicaciones apropiadas y comparan éstas con experimentos y observaciones de condición ejemplar. Antes de que esos libros se popularizaran, a comienzos del siglo XIX (e incluso en tiempos más recientes, en las ciencias que han madurado últimamente), muchos de los libros clásicos famosos de ciencia desempeñaban una función similar. La *Física* de Aristóteles, el *Almagesto* de Tolomeo, los *Principios* y la *óptica* de Newton, la *Electricidad* de Franklin, la *Química* de Lavoisier y la *Geología* de Lyell —estas y muchas otras obras sirvieron implícitamente, durante cierto tiempo, para definir los problemas y métodos legítimos de un campo de la investigación para generaciones sucesivas de científicos. Estaban en condiciones de hacerlo así, debido a que compartían dos características esenciales. Su logro carecía suficientemente de precedentes como para haber podido atraer a un grupo duradero de partidarios, alejándolos de los aspectos de competencia de la actividad científica. Simultáneamente, eran lo bastante incompletas para dejar muchos problemas para ser resueltos por el redelimitado grupo de científicos.

Voy a llamar, de ahora en adelante, a las realizaciones que comparten esas dos características, 'paradigmas', término que se relaciona

estrechamente con ‘ciencia normal’. Al elegirlo, deseo sugerir que algunos ejemplos aceptados de la práctica científica real —ejemplos que incluyen, al mismo tiempo, ley, teoría, aplicación e instrumentación— proporcionan modelos de los que surgen tradiciones particularmente coherentes de investigación científica. Ésas son las tradiciones que describen los historiadores bajo rubros tales como: ‘astronomía tolemaica’ (o ‘de Copérnico’), ‘dinámica aristotélica’ (o ‘newtoniana’), ‘óptica corpuscular’ (u ‘óptica de las ondas’), etc. El estudio de los paradigmas, incluyendo muchos de los enumerados antes como ilustración, es lo que prepara principalmente al estudiante para entrar a formar parte como miembro de la comunidad científica particular con la que trabajará más tarde. Debido a que se reúne con hombres que aprenden las bases de su campo científico a partir de los mismos modelos concretos, su práctica subsiguiente raramente despertará desacuerdos sobre los fundamentos claramente expresados. Los hombres cuya investigación se basa en paradigmas compartidos están sujetos a las mismas reglas y normas para la práctica científica. Este compromiso y el consentimiento aparente que provoca son requisitos previos para la ciencia normal, es decir, para la génesis y la continuación de una tradición particular de la investigación científica.

Debido a que en este ensayo el concepto de paradigma reemplazará frecuentemente a diversas nociones familiares, será preciso añadir algo más respecto a su introducción. ¿Por qué la realización científica concreta, como foco de entrega profesional, es anterior a los diversos conceptos, leyes, teorías y puntos de vista que pueden abstraerse de ella? ¿En qué sentido es el paradigma compartido una unidad fundamental para el estudiante del desarrollo científico, una unidad que no puede reducirse plenamente a componentes atómicos lógicos que pudieran aplicarse en su ayuda? Cuando las encontremos en la Sección V, las respuestas a esas preguntas y a otras similares resultarán básicas para la comprensión tanto de la ciencia normal como del concepto asociado de los paradigmas. Sin embargo, esa discusión más abstracta dependerá de una exposición previa de ejemplos de la ciencia normal o de los paradigmas en acción. En particular, aclararemos esos dos conceptos relacionados, haciendo notar que puede haber cierto tipo de investigación científica sin paradigmas o, al menos, sin los del tipo tan

inequívoco y estrecho como los citados con anterioridad. La adquisición de un paradigma y del tipo más esotérico de investigación que dicho paradigma permite es un signo de madurez en el desarrollo de cualquier campo científico dado.

Si el historiador sigue la pista en el tiempo al conocimiento científico de cualquier grupo seleccionado de fenómenos relacionados, tendrá probabilidades de encontrarse con alguna variante menor de un patrón que ilustramos aquí a partir de la historia de la óptica física. Los libros de texto de física, en la actualidad, indican al estudiante que la luz es fotones, es decir, entidades mecánico-cuánticas que muestran ciertas características de ondas y otras de partículas. La investigación se lleva a cabo de acuerdo con ello o, más bien, según la caracterización más elaborada y matemática de la que se deriva esa verbalización usual. Sin embargo, esta caracterización de la luz tiene, apenas, medio siglo de antigüedad. Antes de que fuera desarrollada por Planck, Einstein y otros, a comienzos de este siglo, los textos de física indicaban que la luz era un movimiento ondulante transversal, concepción fundada en un paradigma, derivado, en última instancia, de los escritos sobre óptica de Young y Fresnel, a comienzos del siglo XIX. Tampoco fue la teoría de las ondas la primera adoptada por casi todos los profesionales de la ciencia óptica. Durante el siglo XVIII, el paradigma para ese campo fue proporcionado por la *Óptica* de Newton, que enseñaba que la luz era corpúsculos de materia. En aquella época, los físicos buscaron pruebas, lo cual no hicieron los primeros partidarios de la teoría de las ondas, de la presión ejercida por las partículas lumínicas al chocar con cuerpos sólidos.[2-1]

Estas transformaciones de los paradigmas de la óptica física son revoluciones científicas y la transición sucesiva de un paradigma a otro por medio de una revolución es el patrón usual de desarrollo de una ciencia madura. Sin embargo, no es el patrón característico del periodo anterior a la obra de Newton, y tal es el contraste, que nos interesa en este caso. No hubo ningún periodo, desde la antigüedad más remota hasta fines del siglo XVII, en que existiera una opinión única generalmente aceptada sobre la naturaleza de la luz. En lugar de ello, había numerosas escuelas y subescuelas competidoras, la mayoría de las cuales aceptaban una u otra

variante de la teoría epicúrea, aristotélica o platónica. Uno de los grupos consideraba que la luz estaba compuesta de partículas que emanan de cuerpos materiales; para otro, era una modificación del medio existente entre el objeto y el ojo; todavía otro explicaba la luz en términos de una interacción entre el medio y una emanación del ojo; además, había otras combinaciones y modificaciones. Cada una de las escuelas correspondientes tomaba fuerza de su relación con alguna metafísica particular y todas realzaban, como observaciones paradigmáticas, el conjunto particular de fenómenos ópticos que mejor podía explicar su propia teoría. Otras observaciones eran resueltas por medio de elaboraciones *ad hoc* o permanecían como problemas al margen para una investigación posterior.[2-2]

En varias épocas, todas esas escuelas llevaron a cabo contribuciones importantes al cuerpo de conceptos, fenómenos y técnicas del que sacó Newton el primer paradigma casi uniformemente aceptado para la óptica física. Cualquier definición del científico que excluya al menos a los miembros más creadores de esas diversas escuelas, excluirá asimismo a sus sucesores modernos. Esos hombres eran científicos. Sin embargo, cualquiera que examine una investigación de la óptica física anterior a Newton, puede llegar fácilmente a la conclusión de que, aunque los profesionales de ese campo eran científicos, el resultado neto de su actividad era algo que no llegaba a ser ciencia. Al tener la posibilidad de no dar por sentado ningún caudal común de creencias, cada escritor de óptica física se sentía obligado a construir su propio campo completamente, desde los cimientos. Al hacerlo así, su elección de observaciones y de experimentos que lo sostuvieran era relativamente libre, debido a que no existía ningún conjunto ordinario de métodos o fenómenos que cada escritor sobre la óptica se sintiera obligado a emplear y explicar. En esas circunstancias, el diálogo de los libros resultantes frecuentemente iba dirigido tanto a los miembros de otras escuelas como a la naturaleza. Este patrón no es desconocido, en la actualidad, en numerosos campos creadores, ni es incompatible con descubrimientos e inventos importantes. Sin embargo, no es el patrón de desarrollo que adquirió la óptica física después de Newton y que, hoy en día, reconocen otras ciencias naturales.

La historia de la investigación eléctrica durante la primera mitad del siglo XVIII proporciona un ejemplo más concreto y mejor conocido del modo como se desarrolla una ciencia, antes de que cuente con su primer paradigma universalmente aceptado. Durante ese periodo había casi tantas opiniones sobre la naturaleza de la electricidad como experimentadores importantes, hombres como Hauksbee, Gray, Desaguliers, Du Fay, Nollett, Watson, Franklin y otros. Todos sus numerosos conceptos sobre la electricidad tenían algo en común: se derivaban, parcialmente, de una u otra versión de la filosofía mecánico-corpuscular que guiaba todas las investigaciones científicas de aquellos tiempos. Además, todos eran componentes de teorías científicas reales, que en parte habían sido obtenidas, por medio de experimentos y observaciones, y que determinaron parcialmente la elección y la interpretación de problemas adicionales a los que se enfrentaban las investigaciones. No obstante, aunque todos los experimentos eran eléctricos y la mayoría de los experimentadores leían las obras de los demás, sus teorías no tenían sino un mero aire de familia.[2-3]

Un grupo temprano de teorías, seguidoras de la práctica del siglo XVII, consideraban la atracción y la generación friccional como el fenómeno eléctrico fundamental. Este grupo tenía tendencia a considerar la repulsión como un efecto secundario debido a alguna clase de rebote mecánico y, asimismo, a aplazar cuanto fuera posible tanto la discusión como la investigación sistemática del recién descubierto efecto de Gray, la conducción eléctrica. Otros "electricistas" (el término es de ellos mismos) consideraron la atracción y la repulsión como manifestaciones igualmente elementales de la electricidad y modificaron en consecuencia sus teorías e investigaciones. (En realidad, este grupo es notablemente pequeño: ni siquiera la teoría de Franklin justificó nunca completamente la repulsión mutua de dos cuerpos cargados negativamente). Pero tuvieron tanta dificultad como el primer grupo para explicar simultáneamente cualesquiera efectos que no fueran los más simples de la conducción. Sin embargo, esos efectos proporcionaron el punto de partida para un tercer grupo, que tenía tendencia a considerar a la electricidad como un "fluido" que podía circular a través de conductores, en lugar de un "efluvio" que emanaba de los no conductores. Este grupo, a su vez, tenía dificultades para reconciliar su

teoría con numerosos efectos de atracción y repulsión. Sólo por medio de los trabajos de Franklin y de sus seguidores inmediatos surgió una teoría que podía explicar, casi con la misma facilidad, casi todos esos efectos y que, por consiguiente, podía proporcionar y proporcionó a una generación subsiguiente de “electricistas” un paradigma común para sus investigaciones.

Excluyendo los campos, tales como las matemáticas y la astronomía, en los que los primeros paradigmas firmes datan de la prehistoria, y también los que, como la bioquímica, surgieron por la división o la combinación de especialidades ya maduras, las situaciones mencionadas antes son típicas desde el punto de vista histórico. Aunque ello significa que debo continuar empleando la simplificación desafortunada que marca un episodio histórico amplio con un nombre único y en cierto modo escogido arbitrariamente (*v.gr.*, Newton o Franklin), sugiero que desacuerdos fundamentales similares caracterizaron, por ejemplo, al estudio del movimiento antes de Aristóteles, de la estática antes de Arquímedes, del calor antes de Black, de la química antes de Boyle y Boerhaave y de la geología histórica antes de Hutton. En ciertas partes de la biología —por ejemplo, el estudio de la herencia— los primeros paradigmas universalmente aceptados son todavía más recientes; y queda todavía en pie la pregunta de qué partes de las ciencias sociales han adquirido ya tales paradigmas. La historia muestra que el camino hacia un consenso firme de investigación es muy arduo.

Sin embargo, la historia sugiere también ciertas razones que explican el porqué de las dificultades encontradas. A falta de un paradigma o de algún candidato a paradigma, todos los hechos que pudieran ser pertinentes para el desarrollo de una ciencia dada tienen probabilidades de parecer igualmente importantes. Como resultado de ello, la primera reunión de hechos es una actividad mucho más fortuita que la que resulta familiar, después del desarrollo científico subsiguiente. Además, a falta de una razón para buscar alguna forma particular de información más recóndita, la primera reunión de hechos y datos queda limitada habitualmente al caudal de datos de que se dispone. El instrumental resultante de hechos contiene los accesibles a la observación y la experimentación casual, junto con algunos de los datos más esotéricos procedentes de artesanías establecidas,

tales como la medicina, la confección de calendarios y la metalurgia. Debido a que las artesanías son una fuente accesible de hechos que fortuitamente no podrían descubrirse, la tecnología ha desempeñado frecuentemente un papel vital en el surgimiento de nuevas ciencias.

Pero, aunque este tipo de reunión de datos ha sido esencial para el origen de muchas ciencias importantes, cualquiera que examine, por ejemplo, los escritos enciclopédicos de Plinio o las historias naturales baconianas del siglo XVII, descubrirá que el producto es un marasmo. En cierto modo, uno duda en llamar científica a la literatura resultante. Las “historias” baconianas sobre el calor, el color, el viento, la minería, etc., están llenas de informes, algunos de ellos recónditos. Pero yuxtaponen hechos que más tarde resultarán reveladores (por ejemplo, el calentamiento por mezcla), junto con otros (*v.gr.*, el calor de los montones de estiércol) que durante cierto tiempo continuarán siendo demasiado complejos como para poder integrarlos en una teoría bien definida.[2-4] Además, puesto que cualquier descripción debe ser parcial, la historia natural típica con frecuencia omite, de sus informes sumamente circunstanciados, precisamente aquellos detalles que científicos posteriores considerarán como fuentes importantes de informes esclarecedores. Por ejemplo, casi ninguna de las primeras “historias” de la electricidad, menciona que las granzas, atraídas a una varilla de vidrio frotada, son despedidas nuevamente. Ese efecto parecía mecánico, no eléctrico.[2-5] Además, puesto que quien reúne datos casuales raramente posee el tiempo o la preparación para ser crítico, las historias naturales yuxtaponen, a menudo, descripciones como las anteriores con otras como, por ejemplo, el calentamiento por antiperístasis (o por enfriamiento), que en la actualidad nos sentimos absolutamente incapaces de confirmar.[2-6] Sólo de vez en cuando, como en los casos de la estática, la dinámica y la óptica geométrica antiguas, los hechos reunidos con tan poca guía de una teoría preestablecida hablan con suficiente claridad como para permitir el surgimiento de un primer paradigma.

Ésta es la situación que crea las escuelas características de las primeras etapas del desarrollo de una ciencia. No puede interpretarse ninguna historia natural sin, al menos, cierto caudal implícito de creencias metodológicas y

teóricas entrelazadas, que permite la selección, la evaluación y la crítica. Si este caudal de creencias no se encuentra ya implícito en la colección de hechos —en cuyo caso tendremos a mano algo más que “hechos simples”— deberá ser proporcionado del exterior, quizá por una metafísica corriente, por otra ciencia o por incidentes personales o históricos. Por consiguiente, no es extraño que, en las primeras etapas del desarrollo de cualquier ciencia, diferentes hombres, ante la misma gama de fenómenos —pero, habitualmente, no los mismos fenómenos particulares— los describan y lo interpreten de modos diferentes. Lo que es sorprendente, y quizá también único en este grado en los campos que llamamos ciencia, es que esas divergencias iniciales puedan llegar a desaparecer en gran parte alguna vez.

Pero desaparecen hasta un punto muy considerable y, aparentemente, de una vez por todas. Además, su desaparición es causada, habitualmente, por el triunfo de una de las escuelas anteriores al paradigma, que a causa de sus propias creencias y preconcepciones características, hace hincapié sólo en alguna parte especial del conjunto demasiado grande e incoado de informes. Los electricistas que creyeron que la electricidad era un fluido y que, por consiguiente, concedieron una importancia especial a la conducción, proporcionan un ejemplo excelente. Conducidos por esa creencia, que apenas podía explicar la conocida multiplicidad de los efectos de atracción y repulsión, varios de ellos tuvieron la idea de embotellar el fluido eléctrico. El fruto inmediato de sus esfuerzos fue la botella de Leyden, un artefacto que nunca hubiera podido ser descubierto por un hombre que explorara la naturaleza fortuitamente o al azar, pero que, en efecto, fue descubierto independientemente al menos por dos investigadores, en los primeros años de la década de 1740.[2-7] Casi desde el comienzo de sus investigaciones sobre la electricidad, Franklin se interesó particularmente en explicar el extraño y, en aquellos tiempos, muy revelador aparato especial. El éxito que tuvo al hacerlo proporcionó el más efectivo de los argumentos para convertir su teoría en un paradigma, aunque éste todavía no podía explicar todos los casos conocidos de repulsión eléctrica.[2-8] Para ser aceptada como paradigma, una teoría debe parecer mejor que sus competidoras; pero no necesita explicar y, en efecto, nunca lo hace, todos los hechos que se puedan confrontar con ella.

Lo que hizo la teoría del fluido eléctrico por el subgrupo que la sostenía, lo hizo después el paradigma de Franklin por todo el grupo de los electricistas. Sugirió qué experimentos valía la pena llevar a cabo y cuáles no, porque iban encaminados hacia manifestaciones secundarias o demasiado complejas de la electricidad. Sólo que el paradigma hizo su trabajo de manera mucho más eficaz, en parte debido a que la conclusión del debate interescolar puso punto final a la reiteración constante de fundamentos y, en parte, debido a que la confianza de que se encontraban en el buen camino animó a los científicos a emprender trabajos más precisos, esotéricos y consuntivos.[2-9] Libre de la preocupación por cualquier fenómeno eléctrico y por todos a la *vez*, el *grupo* unido de electricistas podía ocuparse de fenómenos seleccionados de una manera mucho más detallada, diseñando mucho equipo especial para la tarea y empleándolo de manera más tenaz y sistemática de lo que lo habían hecho hasta entonces los electricistas. Tanto la reunión de datos y hechos como la formulación de teorías se convirtieron en actividades dirigidas. La efectividad y la eficiencia de la investigación eléctrica aumentaron consecuentemente, proporcionando evidencia al apoyo de una versión societaria del agudo aforismo metodológico de Francis Bacon: “La verdad surge más fácilmente del error que de la confusión”.[2-10]

Examinaremos la naturaleza de esta investigación dirigida o basada en paradigmas en la sección siguiente; pero antes, debemos hacer notar brevemente cómo el surgimiento de un paradigma afecta a la estructura del grupo que practica en ese campo. En el desarrollo de una ciencia natural, cuando un individuo o grupo produce, por primera vez, una síntesis capaz de atraer a la mayoría de los profesionales de la generación siguiente, las escuelas más antiguas desaparecen gradualmente. Su desaparición se debe, en parte, a la conversión de sus miembros al nuevo paradigma. Pero hay siempre hombres que se aferran a alguna de las viejas opiniones y, simplemente, se les excluye de la profesión que, a partir de entonces, pasa por alto sus trabajos. El nuevo paradigma implica una definición nueva y más rígida del campo. Quienes no deseen o no sean capaces de ajustar su trabajo a ella deberán continuar en aislamiento o unirse a algún otro grupo.[2-11] Históricamente, a menudo se han limitado a permanecer en los

departamentos de la filosofía de los que han surgido tantas ciencias especiales. Como sugieren esas indicaciones, es a veces sólo la recepción de un paradigma la que transforma a un grupo interesado previamente en el estudio de la naturaleza en una profesión o, al menos, en una disciplina. En las ciencias (aunque no en campos tales como la medicina, la tecnología y el derecho, cuya principal razón de ser es una necesidad social externa), la formación de periódicos especializados, la fundación de sociedades de especialistas y la exigencia de un lugar especial en el conjunto, se han asociado, habitualmente, con la primera aceptación por un grupo de un paradigma simple. Al menos, ése era el caso entre el momento, hace siglo y medio, en que se desarrolló por primera vez el patrón institucional de la especialización científica y la época muy reciente en que la especialización adquirió un prestigio propio.

La definición más rígida del grupo científico tiene otras consecuencias. Cuando un científico individual puede dar por sentado un paradigma, no necesita ya, en sus trabajos principales, tratar de reconstruir completamente su campo, desde sus principios, y justificar el uso de cada concepto presentado. Esto puede quedar a cargo del escritor de libros de texto. Sin embargo, con un libro de texto, el investigador creador puede iniciar su investigación donde la abandona el libro y así concentrarse exclusivamente en los aspectos más sutiles y esotéricos de los fenómenos naturales que interesan a su grupo. Y al hacerlo así, sus comunicados de investigación comenzarán a cambiar en formas cuya evolución ha sido muy poco estudiada, pero cuyos productos finales modernos son evidentes para todos y abrumadores para muchos. Sus investigaciones no tendrán que ser ya incluidas habitualmente en un libro dirigido, como *Experimentos… sobre electricidad*, de Franklin, o el *Origen de las especies*, de Darwin, a cualquiera que pudiera interesarse por el tema principal del campo. En lugar de ello se presentarán normalmente como artículos breves dirigidos sólo a los colegas profesionales, a los hombres cuyo conocimiento del paradigma compartido puede presumirse y que son los únicos capaces de leer los escritos a ellos dirigidos.

En la actualidad, en las ciencias, los libros son habitualmente textos o reflexiones retrospectivas sobre algún aspecto de la vida científica. El

científico que escribe uno de esos libros tiene mayores probabilidades de que su reputación profesional sea dañada que realzada. Sólo en las primeras etapas del desarrollo de las diversas ciencias, anteriores al paradigma, posee el libro ordinariamente la misma relación con la realización profesional que conserva todavía en otros campos creativos. Y sólo en los campos que todavía conservan el libro, con o sin el artículo, como vehículo para la comunicación de las investigaciones, se encuentran tan ligeramente trazadas las líneas de la profesionalización que puede esperar un profano seguir el progreso, leyendo los informes originales de los profesionales. Tanto en la matemática como en la astronomía, ya desde la Antigüedad los informes de investigaciones habían dejado de ser inteligibles para un auditorio de cultura general. En la dinámica, la investigación se hizo similarmente esotérica a fines de la Edad Media y volvió a recuperar su inteligibilidad, de manera breve, a comienzos del siglo XVII, cuando un nuevo paradigma reemplazó al que había guiado las investigaciones medievales. Las investigaciones eléctricas comenzaron a requerir ser traducidas para los legos en la materia a fines del siglo XVIII y la mayoría de los campos restantes de las ciencias físicas dejaron de ser generalmente accesibles durante el siglo XIX. Durante esos mismos dos siglos, pueden señalarse transiciones similares en las diversas partes de las ciencias biológicas; en ciertas partes de las ciencias sociales pueden estarse registrando en la actualidad. Aunque se ha hecho habitual y es seguramente apropiado deplorar el abismo cada vez mayor que separa al científico profesional de sus colegas en otros campos, se dedica demasiado poca atención a la relación esencial entre ese abismo y los mecanismos intrínsecos del progreso científico.

Desde la Antigüedad prehistórica, un campo de estudio tras otro han ido cruzando la línea divisoria entre lo que un historiador podría llamar su prehistoria como ciencia y su historia propiamente dicha. Esas transiciones a la madurez raramente han sido tan repentinas e inequívocas como mi exposición, necesariamente esquemática, pudiera implicar. Pero tampoco han sido históricamente graduales, o sea, coextensivas con el desarrollo total de los campos en cuyo interior tuvieron lugar. Los escritores sobre la electricidad, durante las cuatro primeras décadas del siglo XVIII, poseían

muchos más informes sobre los fenómenos eléctricos que sus predecesores del siglo XVI. Durante el medio siglo posterior a 1740, se añadieron a sus listas muy pocos tipos nuevos de fenómenos eléctricos. Sin embargo, en ciertos aspectos importantes, los escritos de Cavendish, Coulomb y Volta sobre la electricidad, en el último tercio del siglo XVIII parecen más separados de los de Gray, Du Fay e, incluso, Franklin, que los escritos de los primeros descubridores eléctricos del siglo XVIII de aquellos del siglo XVI.[2-12] En algún momento, entre 1740 y 1780, pudieron los electricistas, por primera vez, dar por sentadas las bases de su campo. A partir de ese punto, continuaron hacia problemas más concretos y recónditos e informaron cada vez más de los resultados obtenidos en sus investigaciones en artículos dirigidos a otros electricistas, más que en libros dirigidos al mundo instruido en general. Como grupo, alcanzaron lo que habían logrado los astrónomos en la Antigüedad y los estudiosos del movimiento en la Edad Media, los de la óptica física a fines del siglo XVII y los de la geología histórica a principios del siglo XIX. O sea, habían obtenido un paradigma capaz de guiar las investigaciones de todo el grupo. Excepto con la ventaja de la visión retrospectiva, es difícil encontrar otro criterio que proclame con tanta claridad a un campo dado como ciencia.

III. Naturaleza de la ciencia normal

¿CUÁL es pues la naturaleza de la investigación más profesional y esotérica que permite la aceptación por un grupo de un paradigma único? Si el paradigma representa un trabajo que ha sido realizado de una vez por todas, ¿qué otros problemas deja para que sean resueltos por el grupo unido? Estas preguntas parecerán todavía más apremiantes, si hacemos notar ahora un aspecto en el que los términos utilizados hasta aquí pueden conducir a errores. En su uso establecido, un paradigma es un modelo o patrón aceptado y este aspecto de su significado me ha permitido apropiarme la palabra 'paradigma', a falta de otro término mejor; pronto veremos claramente que el sentido de 'modelo' y 'patrón', que permiten la apropiación, no es enteramente el usual para definir 'paradigma'. En la gramática, por ejemplo, *'amo, amas, amat'* es un paradigma, debido a que muestra el patrón o modelo que debe utilizarse para conjugar gran número de otros verbos latinos, *v.gr*., para producir *'laudo, laudas, laudat'*. En esta aplicación común, el paradigma funciona, permitiendo la renovación de ejemplos cada uno de los cuales podría servir para reemplazarlo. Por otra parte, en una ciencia, un paradigma es raramente un objeto para renovación. En lugar de ello, tal y como una decisión judicial aceptada en el derecho común, es un objeto para una mayor articulación y especificación, en condiciones nuevas o más rigurosas.

Para comprender cómo puede suceder esto, debemos reconocer lo muy limitado que puede ser un paradigma en alcance y precisión en el momento de su primera aparición. Los paradigmas obtienen su *status* como tales, debido a que tienen más éxito que sus competidores para resolver unos cuantos problemas que el grupo de profesionales ha llegado a reconocer

como agudos. Sin embargo, el tener más éxito no quiere decir que tenga un éxito completo en la resolución de un problema determinado o que dé resultados suficientemente satisfactorios con un número considerable de problemas. El éxito de un paradigma —ya sea el análisis del movimiento de Aristóteles, los cálculos hechos por Tolomeo de la posición planetaria, la aplicación hecha por Lavoisier de la balanza o la matematización del campo electromagnético por Maxwell— es al principio, en gran parte, una promesa de éxito discernible en ejemplos seleccionados y todavía incompletos. La ciencia normal consiste en la realización de esa promesa, una realización lograda mediante la ampliación del conocimiento de aquellos hechos que el paradigma muestra como particularmente reveladores, aumentando la extensión del acoplamiento entre esos hechos y las predicciones del paradigma y por medio de la articulación ulterior del paradigma mismo.

Pocas personas que no sean realmente practicantes de una ciencia madura llegan a comprender cuánto trabajo de limpieza de esta especie deja un paradigma para hacer, o cuán atrayente puede resultar la ejecución de dicho trabajo. Y es preciso comprender esos puntos. Las operaciones de limpieza son las que ocupan a la mayoría de los científicos durante todas sus carreras. Constituyen lo que llamo aquí ciencia normal. Examinada de cerca, tanto históricamente como en el laboratorio contemporáneo, esa empresa parece ser un intento de obligar a la naturaleza a que encaje dentro de los límites preestablecidos y relativamente inflexible que proporciona el paradigma. Ninguna parte del objetivo de la ciencia normal está encaminada a provocar nuevos tipos de fenómenos; en realidad, a los fenómenos que no encajarían dentro de los límites mencionados frecuentemente ni siquiera se los ve. Tampoco tienden normalmente los científicos a descubrir nuevas teorías y a menudo se muestran intolerantes con las formuladas por otros.[3-1]

Es posible que sean defectos. Por supuesto, las zonas investigadas por la ciencia normal son minúsculas; la empresa que está siendo discutida ha restringido drásticamente la visión. Pero esas restricciones, nacidas de la confianza en un paradigma, resultan esenciales para el desarrollo de una ciencia. Al enfocar la atención sobre un cuadro pequeño de problemas relativamente esotéricos, el paradigma obliga a los científicos a investigar

alguna parte de la naturaleza de una manera tan detallada y profunda que sería inimaginable en otras condiciones. Y la ciencia normal posee un mecanismo interno que siempre que el paradigma del que proceden deja de funcionar de manera efectiva, asegura el relajamiento de las restricciones que atan a la investigación. En ese punto, los científicos comienzan a comportarse de manera diferente, al mismo tiempo que cambia la naturaleza de sus problemas de investigación. Sin embargo, mientras tanto, durante el periodo en que el paradigma se aplica con éxito, la profesión resolverá problemas que es raro que sus miembros hubieran podido imaginarse y que nunca hubieran emprendido sin él. En lugar de ello, la investigación científica normal va dirigida a la articulación de aquellos fenómenos y teorías que ya proporciona el paradigma.

Para mostrar de manera más clara lo que entendemos por investigación normal o basada en un paradigma, trataré ahora de clasificar e ilustrar los problemas en los que consiste principalmente la ciencia normal. Por conveniencia, pospongo la actividad teórica y comienzo con la reunión de datos o hechos, o sea, con los experimentos y las observaciones que se describen en los periódicos técnicos por medio de los que los científicos informan a sus colegas profesionales de los resultados del progreso de sus investigaciones. ¿Sobre qué aspectos de la naturaleza informan normalmente los científicos? ¿Qué determina su elección? Y, puesto que la mayoría de las observaciones científicas toman tiempo, equipo y dinero, ¿qué es lo que incita a los científicos a llevar esa elección hasta su conclusión?

Creo que hay sólo tres focos normales para la investigación científica fáctica y no son siempre ni permanentemente, distintos. Primeramente, encontramos la clase de hechos que el paradigma ha mostrado que son particularmente reveladores de la naturaleza de las cosas. Al emplearlos para resolver problemas, el paradigma ha hecho que valga la pena determinarlos con mayor precisión y en una mayor variedad de situaciones. En un momento u otro, esas determinaciones fácticas importantes han incluido: en astronomía, la posición y magnitud de las estrellas, los periodos de eclipses binarios de los planetas; en física, las gravedades y compresibilidades específicas de los materiales, las longitudes de onda y las

intensidades espectrales, las conductividades eléctricas y los potenciales de contacto; y en química, la composición y la combinación de pesos, los puntos de ebullición y la acidez de las soluciones, las fórmulas estructurales y actividades ópticas.

Los esfuerzos por aumentar la exactitud y el alcance con que se conocen hechos como ésos, ocupan una fracción importante de la literatura de la ciencia de observación y experimentación. Repetidas veces se han diseñado aparatos especiales y complejos para esos fines, y el invento, la construcción y el despliegue de esos aparatos han exigido un talento de primera categoría, mucho tiempo y un respaldo financiero considerable. Los sincrotrones y los radiotelescopios son tan sólo los ejemplos más recientes de hasta dónde están dispuestos a ir los investigadores, cuando un paradigma les asegura que los hechos que buscan son importantes. Desde Tycho Brahe hasta E. O. Lawrence, algunos científicos han adquirido grandes reputaciones, no por la novedad de sus descubrimientos, sino por la precisión, la seguridad y el alcance de los métodos que desarrollaron para la redeterminación de algún tipo de hecho previamente conocido.

Una segunda clase habitual, aunque menor, de determinaciones fácticas se dirige hacia los hechos que, aunque no tengan a menudo mucho interés intrínseco, pueden compararse directamente con predicciones de la teoría del paradigma. Como veremos un poco más adelante, cuando pasemos de los problemas experimentales a los problemas teóricos de la ciencia normal, es raro que haya muchos campos en los que una teoría científica, sobre todo si es formulada en una forma predominantemente matemática, pueda compararse directamente con la naturaleza. No más de tres de tales campos son accesibles, hasta ahora, a la teoría general de la relatividad de Einstein.[3-2] Además, incluso en los campos en que es posible la aplicación, exige a menudo, aproximaciones teóricas e instrumentales que limitan severamente el acuerdo que pudiera esperarse. El mejoramiento de ese acuerdo o el descubrimiento de nuevos campos en los que el acuerdo pueda demostrarse, representan un desafío constante para la habilidad y la imaginación de los experimentadores y los observadores. Los telescopios especiales para demostrar la predicción de Copérnico sobre la paralaje anual; la máquina de Atwood, inventada casi un siglo después de los *Principia*, para

proporcionar la primera demostración inequívoca de la segunda ley de Newton; el aparato de Foucault, para demostrar que la velocidad de la luz es mayor en el aire que en el agua; o el gigantesco contador de centelleo, diseñado para demostrar la existencia del neutrino —esos aparatos especiales y muchos otros como ellos— ilustran el esfuerzo y el ingenio inmensos que han sido necesarios para hacer que la naturaleza y la teoría lleguen a un acuerdo cada vez más estrecho.[3-3] Este intento de demostrar el acuerdo es un segundo tipo de trabajo experimental normal y depende de un paradigma de manera todavía más evidente que el anterior. La existencia del paradigma establece el problema que debe resolverse; con frecuencia, la teoría del paradigma se encuentra implicada directamente en el diseño del aparato capaz de resolver el problema. Por ejemplo, sin los *Principia*, las mediciones realizadas con la máquina de Atwood no hubieran podido significar nada en absoluto.

Una tercera clase de experimentos y observaciones agota, creo yo, las tareas de reunión de hechos de la ciencia normal. Consiste en el trabajo empírico emprendido para articular la teoría del paradigma, resolviendo algunas de sus ambigüedades residuales y permitiendo resolver problemas hacia los que anteriormente sólo se había llamado la atención. Esta clase resulta la más importante de todas y su descripción exige una subdivisión. En las ciencias de carácter más matemático, algunos de los experimentos cuya finalidad es la articulación, van encaminados hacia la determinación de constantes físicas. Por ejemplo: el trabajo de Newton indicó que la fuerza entre dos unidades de masa a la unidad de distancia sería la misma para todos los tipos de materia en todas las posiciones, en el Universo. Pero sus propios problemas podían resolverse sin calcular siquiera el tamaño de esa atracción, la constante gravitacional universal; y nadie diseñó un aparato capaz de determinarla durante todo el siglo que siguió a la aparición de los *Principia*. La famosa determinación de Cavendish, en 1790, tampoco fue la última. A causa de su posición central en la teoría física, los valores perfeccionados de la constante gravitacional han sido desde entonces objeto de esfuerzos repetidos por parte de experimentadores extraordinarios.[3-4] Otros ejemplos del mismo tipo de trabajo continuo incluirían la determinación de la unidad astronómica, el número de Avogadro, el

coeficiente de Joule, la carga electrónica, etc. Pocos de esos esfuerzos complejos hubieran sido concebidos y ninguno se habría llevado a cabo sin una teoría de paradigma que definiera el problema y garantizara la existencia de una solución estable.

Los esfuerzos para articular un paradigma, sin embargo, no se limitan a la determinación de constantes universales. Por ejemplo, pueden tener también como meta leyes cuantitativas: la Ley de Boyle que relaciona la presión del gas con el volumen, la Ley de Coulomb sobre la atracción eléctrica y la fórmula de Joule que relaciona el calor generado con la resistencia eléctrica y con la corriente, se encuentran en esta categoría. Quizá no resulte evidente el hecho de que sea necesario un paradigma, como requisito previo para el descubrimiento de leyes como ésas. Con frecuencia se oye decir que son descubiertas examinando mediciones tomadas por su propia cuenta y sin compromiso teórico, pero la historia no ofrece ningún respaldo a un método tan excesivamente baconiano. Los experimentos de Boyle no eran concebibles (y si se hubieran concebido hubieran recibido otra interpretación o ninguna en absoluto) hasta que se reconoció que el aire era un fluido elástico al que podían aplicarse todos los conceptos complejos de la hidrostática.[3-5] El éxito de Coulomb dependió de que construyera un aparato especial para medir la fuerza entre dos cargas extremas. (Quienes habían medido previamente las fuerzas eléctricas, utilizando balanzas de platillo, etc., no descubrieron ninguna consistencia o regularidad simple.) Pero a su vez, ese diseño dependió del reconocimiento previo de que cada partícula del fluido eléctrico actúa sobre cada una de las otras a cierta distancia. Era la fuerza entre esas partículas —la única fuerza que con seguridad podía suponerse una función simple de la distancia— la que buscaba Coulomb.[3-6] También los experimentos de Joule pueden utilizarse para ilustrar cómo de la articulación de un paradigma, surgen leyes cuantitativas. En efecto, la relación existente entre el paradigma cualitativo y la ley cuantitativa es tan general y cercana que, desde Galileo, tales leyes han sido con frecuencia adivinadas correctamente, con ayuda de un paradigma, muchos años antes de que pudiera diseñarse un aparato para su determinación experimental.[3-7]

Finalmente, existe un tercer tipo de experimento encaminado hacia la articulación de un paradigma. Estos experimentos, más que otros, pueden asemejarse a la exploración y sobre todo prevalecen en los periodos y en las ciencias que se ocupan más de los aspectos cualitativos que de los cuantitativos relativos a la regularidad de la naturaleza. Con frecuencia un paradigma, desarrollado para un conjunto de fenómenos, resulta ambiguo al aplicarse a otro estrechamente relacionado. Entonces son necesarios experimentos para escoger entre los métodos alternativos, a efecto de aplicar el paradigma al nuevo campo de interés. Por ejemplo, las aplicaciones del paradigma de la teoría calórica, fueron el calentamiento y el enfriamiento por medio de mezclas y del cambio de estado. Pero el calor podía ser soltado o absorbido de muchas otras maneras —p. ej. por medio de combinaciones químicas, por fricción y por compresión o absorción de un gas— y la teoría podía aplicarse a cada uno de esos otros fenómenos de varias formas. Si por ejemplo, el vacío tuviera una capacidad térmica, el calentamiento por compresión podría explicarse como el resultado de la mezcla de gas con vacío. O podría deberse a un cambio en el calor específico de los gases con una presión variable. Además, había varias otras explicaciones posibles. Se emprendieron muchos experimentos para elaborar esas diversas posibilidades y para hacer una distinción entre ellas; todos esos experimentos procedían de la teoría calórica como paradigma y todos se aprovecharon de ella en el diseño de experimentos y en la interpretación de los resultados.[3-8] Una vez establecido el fenómeno del calentamiento por compresión, todos los experimentos ulteriores en ese campo fueron, en esa forma, dependientes del paradigma. Dado el fenómeno, ¿de qué otra forma hubiera podido seleccionarse un experimento para elucidarlo?

Veamos ahora los problemas teóricos de la ciencia normal, que caen muy aproximadamente dentro de las mismas clases que los experimentales o de observación. Una parte del trabajo teórico normal, aunque sólo una parte pequeña, consiste simplemente en el uso de la teoría existente para predecir información fáctica de valor intrínseco. El establecimiento de efemérides astronómicas, el cálculo de las características de las lentes y la producción de curvas de propagación de radio son ejemplos de problemas

de ese tipo. Sin embargo, los científicos los consideran generalmente como trabajos de poca monta que deben dejarse a los ingenieros y a los técnicos. Muchos de ellos en ningún momento aparecen en periódicos científicos importantes. Pero esos mismos periódicos contienen numerosas discusiones teóricas de problemas que, a los no científicos, deben parecerles casi idénticos. Son las manipulaciones de teoría emprendidas no debido a que las predicciones que resultan sean intrínsecamente valiosas, sino porque pueden confrontarse directamente con experimentos. Su fin es mostrar una nueva aplicación del paradigma o aumentar la precisión de una aplicación que ya se haya hecho.

La necesidad de este tipo de trabajo nace de las enormes dificultades que frecuentemente se encuentran para desarrollar puntos de contacto entre una teoría y la naturaleza. Estas dificultades pueden ilustrarse brevemente por medio de un examen de la historia de la dinámica después de Newton. A principios del siglo XVIII, aquellos científicos que hallaron un paradigma en *Principia* dieron por sentada la generalidad de sus conclusiones y tenían todas las razones para hacerlo así. Ningún otro trabajo conocido en la historia de la ciencia ha permitido simultáneamente un aumento tan grande tanto en el alcance como en la precisión de la investigación. En cuanto al cielo, Newton había derivado las Leyes de Kepler sobre el movimiento planetario y había explicado, asimismo, algunos de los aspectos observados en los que la Luna no se conformaba a ellas. En cuanto a la Tierra, había derivado los resultados de ciertas observaciones dispersas sobre los péndulos, los planos inclinados y las mareas. Con la ayuda de suposiciones complementarias, pero *ad hoc*, había sido capaz también de derivar la Ley de Boyle y una fórmula importante para la velocidad del sonido en el aire. Dado el estado de las ciencias en esa época, el éxito de estas demostraciones fue extraordinariamente impresionante. Sin embargo, dada la generalidad presuntiva de las Leyes de Newton, el número de esas aplicaciones no era grande y Newton casi no desarrolló otras. Además, en comparación con lo que cualquier graduado de física puede lograr hoy en día con esas mismas leyes, las pocas aplicaciones de Newton no fueron ni siquiera desarrolladas con precisión.

Limitemos la atención por el momento, al problema de la precisión. Ya hemos ilustrado su aspecto empírico. Fue necesario un equipo especial —el aparato de Cavendish, la máquina de Atwood o los telescopios perfeccionados— para proporcionar los datos especiales que exigían las aplicaciones concretas del paradigma de Newton. Del lado de la teoría existían dificultades similares para obtener el acuerdo. Al aplicar sus leyes a los péndulos, por ejemplo, Newton se vio obligado a considerar el disco como un punto de masa, con el fin de proporcionar una definición única de la longitud del péndulo. La mayoría de sus teoremas, siendo las escasas excepciones hipotéticas y preliminares, pasaban también por alto el efecto de la resistencia del aire. Eran aproximaciones físicas que tenían solidez. Sin embargo, como aproximaciones restringían el acuerdo que podía esperarse entre las predicciones de Newton y los experimentos reales. Las mismas dificultades aparecieron, de manera todavía más clara, en la aplicación de la teoría de Newton al firmamento. Las simples observaciones telescópicas cuantitativas indican que los planetas no obedecen completamente a las Leyes de Kepler, y la teoría de Newton indica que no deberían hacerlo. Para derivar esas leyes, Newton se había visto obligado a desdeñar toda la atracción gravitacional, excepto la que existe entre los planetas individuales y el Sol. Puesto que los planetas se atraen también unos a otros, sólo podía esperarse un acuerdo aproximado entre la teoría aplicada y la observación telescópica.[3-9]

Como en el caso de los péndulos, la confirmación obtenida fue más que satisfactoria para quienes la obtuvieron. No existía ninguna otra teoría que se acercara tanto a la realidad. Ninguno de los que pusieron en tela de juicio la validez del trabajo de Newton, lo hizo a causa de su limitado acuerdo con el experimento y la observación. Sin embargo, esas limitaciones de concordancia dejaron muchos problemas teóricos fascinantes a los sucesores de Newton. Fueron necesarias técnicas teóricas para determinar, por ejemplo, la “longitud equivalente” de un péndulo masivo. Fueron necesarias asimismo técnicas, para ocuparse de los movimientos simultáneos de más de dos cuerpos que se atraen mutuamente. Esos problemas y muchos otros similares ocuparon a muchos de los mejores matemáticos de Europa durante el siglo XVIII y los primeros años del XIX.

Los Bernoulli, Euler, Lagrange, Laplace y Gauss, realizaron todos ellos parte de sus trabajos más brillantes en problemas destinados a mejorar la concordancia entre el paradigma de Newton y la naturaleza. Muchas de esas mismas figuras trabajaron simultáneamente en el desarrollo de las matemáticas necesarias para aplicaciones que Newton ni siquiera había intentado produciendo, por ejemplo, una inmensa literatura y varias técnicas matemáticas muy poderosas para la hidrodinámica y para el problema de las cuerdas vibratorias. Esos problemas de aplicación representan, probablemente, el trabajo científico más brillante y complejo del siglo XVIII. Podrían descubrirse otros ejemplos por medio de un examen del periodo posterior al paradigma, en el desarrollo de la termodinámica, la teoría ondulatoria de la luz, la teoría electromagnética o cualquier otra rama científica cuyas leyes fundamentales sean totalmente cuantitativas. Al menos en las ciencias de un mayor carácter matemático, la mayoría del trabajo teórico es de ese tipo.

Pero no todo es así. Incluso en las ciencias matemáticas hay también problemas teóricos de articulación de paradigmas y durante los periodos en que el desarrollo científico fue predominantemente cualitativo, dominaron estos problemas. Algunos de los problemas, tanto en las ciencias más cuantitativas como en las más cualitativas, tienden simplemente a la aclaración por medio de la reformulación. Por ejemplo, los *Principia* no siempre resultaron un trabajo sencillo de aplicación, en parte debido a que conservaban algo de la tosquedad inevitable en un primer intento y en parte debido a que una fracción considerable de su significado sólo se encontraba implícito en sus aplicaciones. Por consiguiente, de los Bernoulli, d'Alembert y Lagrange, en el siglo XVIII, a los Hamilton, Jacobi y Hertz, en el XIX, muchos de los físicos matemáticos más brillantes de Europa se dieron repetidamente a la tarea de reformular la teoría de Newton en una forma equivalente, pero más satisfactoria lógica y estéticamente. O sea, deseaban mostrar las lecciones implícitas y explícitas de los *Principia* en una versión más coherente, desde el punto de vista de la lógica, y que fuera menos equívoca en sus aplicaciones a los problemas recién planteados por la mecánica.[3-10] En todas las ciencias han tenido lugar, repetidamente, reformulaciones similares de un paradigma; pero la mayoría de ellas han

producido cambios más substanciales del paradigma que las reformulaciones de los *Principia* que hemos citado. Tales cambios son el resultado del trabajo empírico previamente descrito como encaminado a la articulación de un paradigma. En realidad, la clasificación de ese tipo de trabajo como empírico fue arbitraria. Más que cualquier otro tipo de investigación normal, los problemas de la articulación de paradigmas son a la vez teóricos y experimentales; los ejemplos dados antes servirán igualmente bien en este caso. Antes de que pudiera construir su equipo y realizar mediciones con él, Coulomb tuvo que emplear teoría eléctrica para determinar cómo debía construir dicho equipo. La consecuencia de sus mediciones fue un refinamiento de esa teoría. O también, los hombres que idearon los experimentos que debían establecer la distinción entre las diversas teorías del calentamiento por compresión fueron generalmente los mismos que habían formulado las versiones que iban a ser comparadas. Trabajaban tanto con hechos como con teorías y su trabajo no produjo simplemente una nueva información sino un paradigma más preciso, obtenido mediante la eliminación de ambigüedades que había retenido el original a partir del que trabajaban. En casi todas las ciencias, la mayor parte del trabajo normal es de este tipo.

Estas tres clases de problemas —la determinación del hecho significativo, el acoplamiento de los hechos con la teoría y la articulación de la teoría— agotan, creo yo, la literatura de la ciencia normal, tanto empírica como teórica. Por supuesto, no agotan completamente toda la literatura de la ciencia. Hay también problemas extraordinarios y su resolución puede ser la que hace que la empresa científica como un todo resulte tan particularmente valiosa. Pero los problemas extraordinarios no pueden tenerse a petición; surgen sólo en ocasiones especiales, ocasionados por el progreso de la investigación normal. Por consiguiente, es inevitable que una mayoría abrumadora de los problemas de que se ocupan incluso los mejores científicos, caigan habitualmente dentro de una de las tres categorías que hemos mencionado. El trabajo bajo el paradigma no puede llevarse a cabo en ninguna otra forma y la deserción del paradigma significa dejar de practicar la ciencia que se define. Pronto descubriremos que esas deserciones tienen lugar. Son los puntos de apoyo sobre los que giran las

revoluciones científicas. Pero antes de comenzar el estudio de esas revoluciones, necesitamos una visión más panorámica de las empresas científicas normales que preparan el camino.

IV. La ciencia normal como resolución de enigmas

LA CARACTERÍSTICA más sorprendente de los problemas de investigación normal que acabamos de ver es quizá la de cuán poco aspiran a producir novedades importantes, conceptuales o fenomenales. A veces, como en la medición de una longitud de onda, se conoce de antemano todo excepto los detalles más esotéricos y la latitud típica de expectativa es solamente un poco más amplia. Las mediciones de Coulomb no necesitaban, quizá, haberse ajustado a una ley inversa de los cuadrados. Los hombres que trabajaban en el calentamiento por compresión estaban preparados, frecuentemente, para obtener cualquiera de varios resultados. Sin embargo, incluso en casos como ésos, la gama de resultados esperados y, por ello, asimilables, es siempre pequeño en comparación con la gama que puede concebir la imaginación. Y el proyecto cuyo resultado no cae dentro de esa gama estrecha es, habitualmente, un fracaso de la investigación, fracaso que no se refleja sobre la naturaleza sino sobre el científico.

Por ejemplo, en el siglo XVIII se prestaba poca atención a los experimentos que medían la atracción eléctrica con instrumentos tales como la balanza de platillos. Debido a que no producían resultados consistentes ni simples, no podían usarse para articular el paradigma del cual se derivaban. Por consiguiente, continuaban siendo *meros* hechos, no conexos e imposibles de relacionar con el progreso continuado de la investigación eléctrica. Sólo de manera retrospectiva, en posesión de un paradigma subsiguiente, podemos apreciar las características de los fenómenos que muestran. Por supuesto, Coulomb y sus contemporáneos poseían también este último paradigma u otro que, al aplicarse al problema de la atracción,

producía las mismas expectativas. Es por eso por lo que Coulomb fue capaz de diseñar aparatos que dieron un resultado asimilable por medio de la articulación del paradigma. Pero es también por eso por lo que el resultado no sorprendió a nadie y que varios de los contemporáneos de Coulomb habían podido predecirlo de antemano. Ni siquiera los proyectos cuya finalidad es la articulación de un paradigma tienden hacia Una novedad *inesperada*.

Pero si el objetivo de la ciencia normal no son las novedades sustantivas principales —si el fracaso para acercarse al resultado esperado constituye habitualmente un fracaso como científico— ¿por qué entonces se trabaja en esos problemas? Parte de la respuesta ya ha sido desarrollada. Para los científicos, al menos, los resultados obtenidos mediante la investigación normal son importantes, debido a que contribuyen a aumentar el alcance y la precisión con la que puede aplicarse un paradigma. Sin embargo, esta respuesta no puede explicar el entusiasmo y la devoción de que dan prueba los científicos con respecto a los problemas de la investigación normal. No hay nadie que dedique varios años, por ejemplo, al desarrollo de un espectrómetro perfeccionado o a la producción de una solución mejorada respecto al problema de las cuerdas vibratorias, sólo a causa de la importancia de la información que pueda obtenerse. Los datos que pueden obtenerse calculando efemérides o por medio de mediciones ulteriores con un instrumento que existe ya pueden tener a veces la misma importancia; pero esas actividades son menospreciadas regularmente por los científicos, debido a que en gran parte son repeticiones de procedimientos que se han llevado a cabo con anterioridad. Ese rechazo proporciona un indicio sobre la fascinación de los problemas de la investigación normal. Aunque pueda predecirse el resultado de manera tan detallada que lo que quede por conocer carezca de importancia, lo que se encuentra en duda es el modo en que puede lograrse ese resultado. El llegar a la conclusión de un problema de investigación normal es lograr lo esperado de una manera nueva y eso requiere la resolución de toda clase de complejos enigmas instrumentales, conceptuales y matemáticos. El hombre que lo logra prueba que es un experto en la resolución de enigmas y el desafío que representan estos últimos es una parte importante del acicate que hace trabajar al científico.

Los términos “enigma” y “solucionador de enigmas” realzan varios de los temas que han ido sobresaliendo cada vez más en las páginas precedentes. Los enigmas son, en el sentido absolutamente ordinario que empleamos aquí, aquella categoría especial de problemas que puede servir para poner a prueba el ingenio o la habilidad para resolverlos. Las ilustraciones del diccionario son “enigmas de cuadros en pedazos” y “enigmas de palabras cruzadas”, y ésas son las características que comparten con los problemas de la ciencia normal que necesitamos aislar ahora. Acabamos de mencionar una de ellas. No es un criterio de calidad de un enigma el que su resultado sea intrínsecamente interesante o importante. Por el contrario, los problemas verdaderamente apremiantes, como un remedio para el cáncer o el logro de una paz duradera, con frecuencia no son ningún enigma, en gran parte debido a que pueden no tener solución alguna.

Consideremos un rompecabezas cuyas piezas se seleccionan al azar de dos cajas diferentes de rompecabezas. Puesto que ese problema tiene probabilidades de desafiar (aunque pudiera no hacerlo) incluso a los hombres más ingeniosos, no puede servir como prueba de habilidad para resolverlo. En el sentido normal de la palabra, no es ningún enigma. Aunque el valor intrínseco no constituye un criterio para un enigma, sí lo es la existencia asegurada de una solución.

Sin embargo, hemos visto ya que una de las cosas que adquiere una comunidad científica con un paradigma, es un criterio para seleccionar problemas que, mientras se dé por sentado el paradigma, puede suponerse que tienen soluciones. Hasta un punto muy elevado, ésos son los únicos problemas que la comunidad admitirá como científicos o que animará a sus miembros a tratar de resolver. Otros problemas, incluyendo muchos que han sido corrientes con anterioridad, se rechazan como metafísicos, como correspondientes a la competencia de otra disciplina o, a veces, como demasiado problemáticos para justificar el tiempo empleado en ellos. Así pues, un paradigma puede incluso aislar a la comunidad de problemas importantes desde el punto de vista social, pero que no pueden reducirse a la forma de enigma, debido a que no pueden enunciarse de acuerdo con las herramientas conceptuales e instrumentales que proporciona el paradigma.

Tales problemas pueden constituir una distracción, lección ilustrada brillantemente por varias facetas del baconismo del siglo XVIII y por algunas de las ciencias sociales contemporáneas. Una de las razones por las cuales la ciencia normal parece progresar tan rápidamente es que quienes la practican se concentran en problemas que sólo su propia falta de ingenio podría impedirles resolver.

Sin embargo, si los problemas de la ciencia normal son enigmas en ese sentido, no necesitamos continuar preguntándonos por qué los científicos se dedican a ellos con tanta pasión y devoción. Un hombre puede ser atraído hacia la ciencia por toda clase de razones. Entre ellas se encuentra el deseo de ser útil, la emoción de explorar un territorio nuevo, la esperanza de encontrar orden y el impulso de poner a prueba los conocimientos establecidos. Esos motivos y otros muchos ayudan también a determinar a qué problemas particulares dedicará más tarde su tiempo el científico. Además, aunque el resultado es, a veces, una frustración, existe una buena razón para que motivos como ésos primero lo atraigan y luego lo guíen.[4-1] La empresa científica como un todo resulta útil de vez en cuando, abre nuevos territorios, despliega orden y pone a prueba creencias aceptadas desde hace mucho tiempo. Sin embargo, el *individuo* dedicado a la resolución de un problema de investigación normal *casi nunca hace alguna de esas cosas*. Una vez comprometido, su aliciente es de tipo bastante diferente. Lo que lo incita a continuar entonces es la convicción de que, a condición de que tenga la habilidad suficiente para ello, logrará resolver un enigma que nadie ha logrado resolver hasta entonces o, por lo menos, no tan bien. Muchas de las mentalidades científicas más brillantes han dedicado toda su atención profesional a enigmas exigentes de ese tipo. La mayoría de las veces, cualquier campo particular de especialización no ofrece otra cosa que hacer, hecho que no lo hace menos atrayente para los adictos del tipo apropiado.

Veamos ahora otro aspecto, más complejo y revelador, del paralelismo entre los enigmas y los problemas de la ciencia normal. Para que pueda clasificarse como enigma, un problema debe caracterizarse por tener más de una solución asegurada. Asimismo, debe haber reglas que limiten tanto la naturaleza de las soluciones aceptables como los pasos que es preciso dar

para obtenerlas. Por ejemplo, el resolver un rompecabezas de piezas recortadas no es simplemente “montar un cuadro”. Cualquier niño o artista contemporáneo podría hacerlo dispersando piezas seleccionadas, como formas abstractas, sobre algún fondo neutro. El cuadro así producido podría ser mucho mejor y, desde luego, más original, que aquel del que se hizo el rompecabezas. Sin embargo, ese cuadro no sería una solución. Para lograr que se utilicen todas las piezas, sus lados planos deben estar hacia abajo y deberán unirse, sin forzarlas, de tal manera que no queden huecos entre ellas. Ésas son algunas de las reglas que rigen la solución de los rompecabezas de piezas. Pueden descubrirse fácilmente restricciones similares de las soluciones admisibles de crucigramas, adivinanzas o acertijos, problemas de ajedrez, etc.

Si podemos aceptar un uso muy extendido del término “regla” —un sentido que equivalga ocasionalmente a “punto de vista establecido” o a “preconcepción”—, entonces los problemas accesibles dentro de una tradición dada de investigación presentarán algo muy similar a este conjunto de características de los enigmas. El hombre que construye un instrumento para determinar las longitudes de onda ópticas no deberá estar satisfecho con un equipo que se limite a atribuir números determinados a líneas espectrales particulares. No es sólo un explorador o un medidor, sino que por el contrario, mediante el análisis de su aparato, deberá mostrar en términos del cuerpo establecido de teoría óptica, que los números que muestra su instrumento son los que corresponden en la teoría como los de las longitudes de onda. Si algún punto vago que quede en la teoría o algún componente no analizado de su aparato le impiden completar su demostración, sus colegas pueden llegar a la conclusión de que no ha medido nada en absoluto. Por ejemplo, los máximos de dispersión de electrones que fueron considerados más tarde como índices de longitud de onda de los electrones no tenían ningún significado aparente cuando fueron observados y registrados por primera vez. Antes de que se convirtieran en medidas de algo, tuvieron que ser relacionados con una teoría que predecía el comportamiento ondulatorio de la materia en movimiento. E incluso después de que se señalara esa relación, el aparato tuvo que volver a ser diseñado para que los resultados experimentales pudieran relacionarse con

la teoría de manera inequívoca.[4-2] No se resolvió ningún problema hasta que fueron satisfechas esas condiciones.

Otros tipos similares de restricciones ligan las soluciones admisibles a los problemas teóricos. Durante todo el siglo XVIII, los científicos que trataron de derivar el movimiento observado de la Luna, de las leyes de Newton sobre el movimiento y la gravitación, fracasaron repetidamente. Como resultado, algunos de ellos sugirieron reemplazar la ley del Universo de los cuadrados por una ley que se desviara de ella a pequeñas distancias. Sin embargo, el hacerlo así hubiera sido tanto como cambiar el paradigma, definir un nuevo enigma y no resolver el antiguo. En esas condiciones, los científicos preservaron las reglas hasta que, en 1750, uno de ellos descubrió cómo pueden aplicarse con buenos resultados.[4-3] Sólo un cambio de las reglas del juego podía haber proporcionado una alternativa.

El estudio de las tradiciones científicas normales hace descubrir muchas otras reglas complementarias, que proporcionan mucha información sobre los compromisos que deducen los científicos de sus paradigmas. ¿Cuáles podemos decir qué son las categorías principales a que corresponden esas reglas?[4-4] La más evidente y, probablemente, la más inflexible, es ilustrada por los tipos de generalizaciones que acabamos de mencionar. Son enunciados explícitos de leyes científicas y sobre conceptos y teorías científicos. Mientras continúan siendo reconocidos, esos enunciados ayudan a fijar enigmas y a limitar las soluciones aceptables. Por ejemplo, las Leyes de Newton desempeñaron esas funciones durante los siglos XVIII y XIX. En tanto lo hicieron, la cantidad de materia fue categoría ontológica fundamental para los científicos físicos y las fuerzas que actúan entre trozos de materia fueron un tópico predominante para las investigaciones.[4-5] En química, el plantear él problema de los pesos atómicos, las leyes de proporciones fijas y definidas tuvieron, durante mucho tiempo, una fuerza idéntica, fijar los resultados admisibles de los análisis químicos e informar a los químicos de lo que eran los átomos, las moléculas, los compuestos y las mezclas.[4-6] Las ecuaciones de Maxwell y las leyes de la termodinámica estática tienen hoy en día la misma vigencia y desempeñan esas mismas funciones.

Sin embargo, las reglas de ese tipo no son las únicas ni siquiera las más interesantes que pueden encontrarse mediante el estudio histórico. A un nivel inferior o más concreto que el de las leyes y las teorías, hay, por ejemplo, una multitud de compromisos sobre tipos preferidos de instrumentación y los modos en que pueden utilizarse legítimamente los instrumentos aceptados. El cambio de actitudes hacia el papel desempeñado por el fuego en el análisis químico constituyó en el siglo XVII un progreso vital en el desarrollo de la química.[4-7] Helmholtz, en el siglo XIX, encontró una fuerte resistencia por parte de los fisiólogos para aceptar la noción de que la experimentación física podía iluminar su campo.[4-8] Y en este siglo, la curiosa historia de la cromatografía química ilustra una vez más la resistencia de los compromisos instrumentales que, tanto como las leyes y las teorías, proporcionan a los científicos reglas del juego.[4-9] Cuando analizamos el descubrimiento de los rayos X, encontramos, generalmente, razones para compromisos de ese tipo.

Menos locales y temporales, aunque todavía no características invariables de la ciencia, son los compromisos de nivel más elevado, casi metafísico, que muestran tan regularmente los estudios históricos. Desde aproximadamente 1630, por ejemplo, y sobre todo después de la aparición de los escritos científicos de Descartes que tuvieron una influencia inmensa, la mayoría de los científicos físicos suponían que el Universo estaba compuesto de partículas microscópicas y que todos los fenómenos naturales podían explicarse en términos de forma, tamaño, movimiento e interacción corpusculares. Este conjunto de compromisos resultó ser tanto metafísico como metodológico. En tanto que metafísico, indicaba a los científicos qué tipos de entidades contenía y no contenía el Universo: era sólo materia formada en movimiento. En tanto que metodológico, les indicaba cómo debían ser las leyes finales y las explicaciones fundamentales: las leyes deben especificar el movimiento y la interacción corpusculares y la explicación debe reducir cualquier fenómeno natural dado a la acción corpuscular conforme a esas leyes. Lo que es todavía más importante, la concepción corpuscular del Universo indicó a los científicos cuántos de sus problemas de investigación tenían razón de ser. Por ejemplo, un químico que, como Boyle, adoptara la nueva filosofía, prestaba atención especial a

las reacciones que podían considerarse como trasmutaciones. De manera más clara que cualesquiera otras, éstas exhibían el proceso de reacomodo corpuscular que debe encontrarse en la base de todo cambio químico.[4-10] Pueden observarse efectos similares del corpuscularismo, en el estudio de la mecánica, de la óptica y del calor.

Finalmente, a un nivel aún más elevado, existe todavía otro conjunto de compromisos sin los cuales ningún hombre es un científico. Por ejemplo, el científico debe interesarse por comprender el mundo y por extender la precisión y el alcance con que ha sido ordenado. A su vez, ese compromiso debe llevarlo a analizar, ya sea por sí mismo o a través de sus colegas, algún aspecto de la naturaleza, con toda clase de detalles empíricos. Y si ese análisis pone de manifiesto bolsones de aparente desorden, entonces éstos deberán incitarlo a llevar a cabo un refinamiento nuevo de sus técnicas de observación o a una articulación ulterior de sus teorías. Indudablemente hay todavía otras reglas como estas, que los científicos de todas las épocas han mantenido.

La existencia de esta sólida red de compromisos —conceptuales, teóricos, instrumentales y metodológicos— es una fuente principal de la metáfora que relaciona a la ciencia normal con la resolución de enigmas. Debido a que proporciona reglas que dicen, a quien practica una especialidad madura, cómo son el mundo y su ciencia, el científico puede concentrarse con seguridad en los problemas esotéricos que le definen esas reglas y los conocimientos existentes. Entonces, lo que constituye un reto para él es cómo llegar a resolver el enigma residual. En ese y otros aspectos, una discusión de los enigmas y de las reglas, esclarece la naturaleza de la práctica científica normal. Sin embargo, en otro aspecto, ese esclarecimiento puede ser bastante engañoso. Aunque es evidente que hay reglas a las que se adhieren, en un momento dado, todos los profesionales que practican una especialidad científica, esas reglas pueden no especificar por sí mismas todo lo que tiene en común la práctica de esos especialistas. La ciencia normal es una actividad altamente determinada, pero no necesita estar determinada enteramente por reglas. Ésta es la razón por la cual, al comienzo de este ensayo, presenté paradigmas compartidos, más que reglas, suposiciones y puntos de vista compartidos, como fuente de

coherencia para las tradiciones de la investigación normal. Las reglas, según sugiero, se derivan de los paradigmas; pero éstos pueden dirigir la investigación, incluso sin reglas.

V. Prioridad de los paradigmas

PARA DESCUBRIR la relación existente entre reglas, paradigmas y ciencia normal, tómese primeramente en consideración cómo aisla el historiador los lugares particulares de compromiso que acabamos de describir como reglas aceptadas. Una investigación histórica profunda de una especialidad dada, en un momento dado, revela un conjunto de ilustraciones recurrentes y casi normalizadas de diversas teorías en sus aplicaciones conceptuales, instrumentales y de observación. Ésos son los paradigmas de la comunidad revelados en sus libros de texto, sus conferencias y sus ejercicios de laboratorio. Estudiándolos y haciendo prácticas con ellos es como aprenden su profesión los miembros de la comunidad correspondiente. Por supuesto, el historiador descubrirá, además, una zona de penumbra ocupada por realizaciones cuyo *status* aún está en duda; pero, habitualmente, el núcleo de técnicas y problemas resueltos estará claro. A pesar de las ambigüedades ocasionales, los paradigmas de una comunidad científica madura pueden determinarse con relativa facilidad.

La determinación de los paradigmas compartidos no es, sin embargo, la determinación de reglas compartidas. Esto exige una segunda etapa, de un tipo algo diferente. Al emprenderla, el historiador deberá comparar los paradigmas de la comunidad unos con otros y con sus informes corrientes de investigación. Al hacerlo así, su objetivo es descubrir qué elementos aislables, explícitos o implícitos, pueden haber *abstraído* los miembros de esa comunidad de sus paradigmas más globales, y empleado como reglas en sus investigaciones. Cualquiera que haya tratado de describir o analizar la evolución de una tradición científica dada, habrá buscado, necesariamente, principios y reglas aceptados de ese tipo. Como lo indica la sección

anterior, es casi seguro que haya tenido éxito, al menos de manera parcial. Pero, si su experiencia tiene alguna similitud con la mía, habrá descubierto que la búsqueda de reglas es más difícil y menos satisfactoria que la de paradigmas. Algunas de las generalizaciones que utilice para describir las creencias compartidas por la comunidad, no presentarán problemas. Sin embargo, otras, incluyendo algunas de las utilizadas anteriormente como ilustraciones, mostrarán un matiz demasiado fuerte. Expresadas de ese modo o de cualquier otra forma que pueda imaginarse, es casi seguro que hubieran sido rechazadas por algunos miembros del grupo que se esté estudiando. Sin embargo, para comprender la coherencia de la tradición de investigación en términos de las reglas, se necesitarán ciertas especificaciones de base común en el campo correspondiente. Como resultado de ello, la búsqueda de un cuerpo de reglas pertinentes para constituir una tradición de investigación normal dada, se convierte en una fuente de frustración continua y profunda. Sin embargo, el reconocimiento de la frustración hace posible diagnosticar su origen. Los científicos pueden estar de acuerdo en que Newton, Lavoisier, Maxwell o Einstein produjeron una solución aparentemente permanente para un grupo de problemas extraordinarios y, no obstante, estar en desacuerdo, a veces sin darse cuenta plenamente de ello, en lo que respecta a las características abstractas particulares que hacen que esas soluciones sean permanentes. O sea, pueden estar de acuerdo en cuanto a su *identificación* de un paradigma sin ponerse de acuerdo o, incluso, sin tratar siquiera de producir, una *interpretación* plena o *racionalización* de él. La falta de una interpretación ordinaria o de una reducción aceptada a reglas, no impedirá que un paradigma dirija las investigaciones. La ciencia normal puede determinarse en parte por medio de la inspección directa de los paradigmas, proceso que frecuentemente resulta más sencillo con la ayuda de reglas y suposiciones, pero que no depende de la formulación de éstas. En realidad, La existencia de un paradigma ni siquiera debe implicar la existencia de algún conjunto completo de reglas.[5-1]

Inevitablemente, el primer efecto de esos enunciados es el de plantear problemas. A falta de un cuerpo pertinente de reglas, ¿qué es lo que liga al científico a una tradición particular de la ciencia normal? ¿Qué puede

significar la frase 'inspección directa de paradigmas'? El finado Ludwig Wittgenstein dio respuestas parciales a esas preguntas, aunque en un contexto muy diferente. Debido a que este contexto es, a la vez, más elemental y más familiar, será conveniente que examinemos primeramente su forma del argumento. ¿Qué debemos saber, preguntaba Wittgenstein, con el fin de aplicar términos como 'silla', 'hoja' o 'juego' de manera inequívoca y sin provocar discusiones?[5-2]

Esta pregunta es muy antigua y generalmente se ha respondido a ella diciendo que debemos saber, consciente o intuitivamente, qué *es* una silla, una hoja o un juego. O sea, debemos conocer un conjunto de atributos que todos los juegos tengan en común y sólo ellos. Sin embargo, Wittgenstein llegaba a la conclusión de que, dado el modo en que utilizamos el lenguaje y el tipo de mundo al cual se aplica, no es preciso que haya tal conjunto de características. Aunque un examen de *algunos* de los atributos compartidos por cierto *número* de juegos, sillas u hojas a menudo nos ayuda a aprender cómo emplear el término correspondiente, no existe un conjunto de características que sea aplicable simultáneamente a todos los miembros de la clase y sólo a ellos. En cambio, ante una actividad que no haya sido observada previamente, aplicamos el término 'juego' debido a que lo que vemos tiene un gran "parecido de familia" con una serie de actividades que hemos aprendido a llamar previamente con ese nombre. En resumen, para Wittgenstein, los juegos, las sillas y las hojas son familias naturales, cada una de las cuales está constituida por una red de semejanzas que se superponen y se entrecruzan. La existencia de esa red explica suficientemente el que logremos identificar al objeto o a la actividad correspondientes. Sólo si las familias que nominamos se superponen y se mezclan gradualmente unas con otras —o sea, sólo si no hubiera familias *naturales*— ello proporcionaría nuestro éxito en la identificación y la nominación, una prueba en pro de un conjunto de características comunes, correspondientes a cada uno de los nombres de clases que utilicemos.

Algo muy similar puede ser válido para los diversos problemas y técnicas de investigación que surgen dentro de una única tradición de ciencia normal. Lo que tienen en común no es que satisfagan algún conjunto explícito, o incluso totalmente descubrible, de reglas y

suposiciones que da a la tradición su carácter y su vigencia para el pensamiento científico. En lugar de ello pueden relacionarse, por semejanza o por emulación, con alguna parte del cuerpo científico que la comunidad en cuestión reconozca ya como una de sus realizaciones establecidas. Los científicos trabajan a partir de modelos adquiridos por medio de la educación y de la exposición subsiguiente a la literatura, con frecuencia sin conocer del todo o necesitar conocer qué características les han dado a esos modelos su *status* de paradigmas de la comunidad. Por ello, no necesitan un conjunto completo de reglas. La coherencia mostrada por la tradición de la investigación de la que participan, puede no implicar siquiera la existencia de un cuerpo básico de reglas y suposiciones que pudiera descubrir una investigación filosófica o histórica adicional. El hecho de que los científicos no pregunten o discutan habitualmente lo que hace que un problema particular o una solución sean aceptables, nos inclina a suponer que, al menos intuitivamente, conocen la respuesta. Pero puede indicar sólo que no le parecen importantes para su investigación ni la pregunta ni Ja respuesta. Los paradigmas pueden ser anteriores, más inflexibles y completos que cualquier conjunto de reglas para la investigación que pudiera abstraerse inequívocamente de ellos.

Hasta ahora, hemos desarrollado este tema desde un punto de vista totalmente teórico: los paradigmas *podrían* determinar la ciencia normal sin intervención de reglas descubribles. Trataré ahora de aumentar tanto su claridad como su apremio, indicando algunas de las razones para creer que los paradigmas funcionan realmente en esa forma. La primera, que ya hemos examinado de manera bastante detallada, es la gran dificultad para descubrir las reglas que han guiado a las tradiciones particulares de la ciencia normal. Esta dificultad es casi la misma que la que encuentra el filósofo cuando trata de explicar qué es lo que tienen en común todos los juegos. La segunda, de la que la primera es realmente un corolario, tiene sus raíces en la naturaleza de la educación científica. Como debe ser obvio ya, los científicos nunca aprenden conceptos, leyes y teorías en abstracto y por sí mismos. En cambio, esas herramientas intelectuales las encuentran desde un principio en una unidad histórica y pedagógicamente anterior que las presenta con sus aplicaciones y a través de ellas. Una nueva teoría se

anuncia siempre junto con aplicaciones a cierto rango concreto de fenómenos naturales; sin ellas, ni siquiera podría esperar ser aceptada. Después de su aceptación, esas mismas aplicaciones u otras acompañarán a la teoría en los libros de texto de donde aprenderán su profesión los futuros científicos. No se encuentran allí como mero adorno, ni siquiera como documentación. Por el contrario, el proceso de aprendizaje de una teoría depende del estudio de sus aplicaciones, incluyendo la práctica en la resolución de problemas, tanto con un lápiz y un papel como con instrumentos en el laboratorio. Por ejemplo, si el estudiante de la dinámica de Newton descubre alguna vez el significado de términos tales como ‘fuerza’, ‘masa’, ‘espacio’ y ‘tiempo’, lo hace menos a partir de las definiciones incompletas, aunque a veces útiles, de su libro de texto, que por medio de la observación y la participación en la aplicación de esos conceptos a la resolución de problemas.

Ese proceso de aprendizaje por medio del estudio y de la práctica continúa durante todo el proceso de iniciación profesional. Cuando el estudiante progresa de su primer año de estudios hasta la tesis de doctorado y más allá, los problemas que le son asignados van siendo cada vez, más complejos y con menos precedentes; pero continúan siguiendo de cerca al modelo de las realizaciones previas, como lo continuarán siguiendo los problemas que normalmente lo ocupen durante su subsiguiente carrera científica independiente. Podemos con toda libertad suponer que en algún momento durante el proceso, el científico intuitivamente ha abstraído reglas del juego para él mismo, pero no hay muchas razones para creer eso. Aunque muchos científicos hablan con facilidad y brillantez sobre ciertas hipótesis individuales que soportan alguna fracción concreta de investigación corriente, son poco mejores que los legos en la materia para caracterizar las bases establecidas de su campo, sus problemas y sus métodos aceptados. Si han aprendido alguna vez esas abstracciones, lo demuestran principalmente por medio de su habilidad para llevar a cabo investigaciones brillantes. Sin embargo, esta habilidad puede comprenderse sin recurrir a hipotéticas reglas del juego.

Estas consecuencias de la educación científica tienen una recíproca que proporciona una tercera razón para suponer que los paradigmas guían la

investigación tanto como modelos directos como por medio de reglas abstraídas. La ciencia normal puede seguir adelante sin reglas sólo en tanto la comunidad científica pertinente acepte sin discusión las soluciones de los problemas particulares que ya se hayan llevado a cabo. Por consiguiente, las reglas deben hacerse importantes y desaparecer la despreocupación característica hacia ellas, siempre que se sienta que los paradigmas o modelos son inseguros. Además, es eso lo que sucede exactamente. El periodo anterior al paradigma sobre todo, está marcado regularmente por debates frecuentes y profundos sobre métodos, problemas y normas de soluciones aceptables, aun cuando esas discusiones sirven más para formar escuelas que para producir acuerdos. Ya hemos presentado unos cuantos de esos debates en la óptica y la electricidad y desempeñaron un papel todavía más importante en el desarrollo de la química en el siglo XVII y de la geología en el XIX.[5-3] Por otra parte, esos debates no desaparecen de una vez por todas cuando surge un paradigma. Aunque casi no existen durante los periodos de ciencia normal, se presentan regularmente poco antes de que se produzcan las revoluciones científicas y en el curso de éstas, los periodos en los que los paradigmas primero se ven atacados y más tarde sujetos a cambio. La transición de la mecánica de Newton a la mecánica cuántica provocó muchos debates tanto sobre la naturaleza como sobre las normas de la física, algunos de los cuales continúan todavía en la actualidad.[5-4] Todavía viven personas que pueden recordar las discusiones similares engendradas por la teoría electromagnética de Maxwell y por la mecánica estadística.[5-5] Y antes aún, la asimilación de las mecánicas de Galileo y Newton dio lugar a una serie de debates particularmente famosa con los aristotélicos, los cartesianos y los leibnizianos sobre las normas legítimas de la ciencia.[5-6] Cuando los científicos están en desacuerdo respecto a si los problemas fundamentales de su campo han sido o no resueltos, la búsqueda de reglas adquiere una función que ordinariamente no tiene. Sin embargo, mientras continúan siendo seguros los paradigmas, pueden funcionar sin acuerdo sobre la racionalización o sin ninguna tentativa en absoluto de racionalización.

Podemos concluir esta sección con una cuarta razón para conceder a los paradigmas un *status* anterior al de las reglas y de los supuestos

compartidos. En la introducción a este ensayo se sugiere que puede haber revoluciones tanto grandes como pequeñas, que algunas revoluciones afectan sólo a los miembros de una subespecialidad profesional y que, para esos grupos, incluso el descubrimiento de un fenómeno nuevo e inesperado puede ser revolucionario. En la sección siguiente presentaremos revoluciones seleccionadas de ese tipo y todavía no está muy claro cómo pueden existir. Si la ciencia normal es tan rígida y si las comunidades científicas están tan estrechamente unidas como implica la exposición anterior, ¿cómo es posible que un cambio de paradigma afecte sólo a un pequeño subgrupo? Lo que hasta ahora se ha dicho, puede haber parecido implicar que la ciencia normal es una empresa única, monolítica y unificada, que debe sostenerse o derrumbarse tanto con cualquiera de sus paradigmas como con todos ellos juntos. Pero evidentemente, la ciencia raramente o nunca es de ese tipo. Con frecuencia, viendo todos los campos al mismo tiempo, parece más bien una estructura desvencijada con muy poca coherencia entre sus diversas partes. Sin embargo, nada de lo dicho hasta este momento debería entrar en conflicto con esa observación tan familiar. Por el contrario, sustituyendo los paradigmas por reglas podremos comprender con mayor facilidad la diversidad de los campos y las especialidades científicas. Las reglas explícitas, cuando existen, son generalmente comunes a un grupo científico muy amplio; pero no puede decirse lo mismo de los paradigmas. Quienes practican en campos muy separados, por ejemplo, la astronomía y la botánica taxonómica, se educan a través del estudio de logros muy distintos descritos en libros absolutamente diferentes. Incluso los hombres que se encuentran en el mismo campo o en otros campos estrechamente relacionados y que comienzan estudiando muchos de los mismos libros y de los mismos logros pueden, en el curso de su especialización profesional, adquirir paradigmas muy diferentes.

Examinemos, para dar un solo ejemplo, la comunidad amplia y diversa que constituyen todos los científicos físicos. A cada uno de los miembros de ese grupo se le enseñan en la actualidad las leyes de, por ejemplo, la mecánica cuántica, y la mayoría de ellos emplean esas leyes en algún momento de sus investigaciones o su enseñanza. Pero no todos ellos

aprenden las mismas aplicaciones de esas leyes y, por consiguiente, no son afectados de la misma forma por los cambios de la mecánica cuántica, en la práctica. En el curso de la especialización profesional, sólo unos cuantos científicos físicos se encuentran con los principios básicos de la mecánica cuántica. Otros estudian detalladamente las aplicaciones del paradigma de esos principios a la química, otros más a la física de los sólidos, etc. Lo que la mecánica cuántica signifique para cada uno de ellos dependerá de los cursos que haya seguido, los libros de texto que haya leído y los periódicos que estudie. De ello se desprende que, aun cuando un cambio de la ley de la mecánica cuántica sería revolucionario para todos esos grupos, un cambio que solo se refleja en alguna de las aplicaciones del paradigma de la mecánica cuántica sólo debe resultar revolucionario para los miembros de una subespecialidad profesional determinada. Para el resto de la profesión y para quienes practican otras ciencias físicas, ese cambio no necesitará ser revolucionario en absoluto. En resumen, aunque la mecánica cuántica (o la dinámica de Newton o la teoría electromagnética) es un paradigma para muchos grupos científicos, no es el mismo paradigma para todos ellos; puede, por consiguiente, determinar simultáneamente varias tradiciones de ciencia normal que, sin ser coextensivas, coinciden. Una revolución producida en el interior de una de esas tradiciones no tendrá que extenderse necesariamente a todas las demás.

Una breve ilustración del efecto de la especialización podría dar a toda esta serie de puntos una fuerza adicional. Un investigador que esperaba aprender algo sobre lo que creían los científicos qué era la teoría atómica, les preguntó a un físico distinguido y a un químico eminente si un átomo simple de helio era o no una molécula. Ambos respondieron sin vacilaciones, pero sus respuestas no fueron idénticas. Para el químico, el átomo de helio era una molécula, puesto que se comportaba como tal con respecto a la teoría cinética de los gases. Por la otra parte, para el físico, el átomo de helio no era una molécula, ya que no desplegaba un espectro molecular.[5-7] Puede suponerse que ambos hombres estaban hablando de la misma partícula; pero se la representaban a través de la preparación y la práctica de investigación que les era propia. Su experiencia en la resolución de problemas les decía lo que debía ser una molécula. Indudablemente, sus

experiencias habían tenido mucho en común; pero, en este caso, no les indicaban exactamente lo mismo a los dos especialistas. Conforme avancemos en el estudio de este tema, iremos descubriendo cuántas consecuencias pueden ocasionalmente tener las diferencias de paradigma de este tipo.

VI. La anomalía y la emergencia de los descubrimientos científicos

LA CIENCIA normal, la actividad para la resolución de enigmas que acabamos de examinar, es una empresa altamente acumulativa que ha tenido un éxito eminente en su objetivo, la extensión continua del alcance y la precisión de los conocimientos científicos. En todos esos aspectos, se ajusta con gran precisión a la imagen más usual del trabajo científico. Sin embargo, falta un producto ordinario de la empresa científica. La ciencia normal no tiende hacia novedades fácticas o teóricas y, cuando tiene éxito, no descubre ninguna. Sin embargo, la investigación científica descubre repetidamente fenómenos nuevos e inesperados y los científicos han inventado, de manera continua, teorías radicalmente nuevas. La historia sugiere incluso que la empresa científica ha desarrollado una técnica cuyo poder es único para producir sorpresas de este tipo. Para reconciliar esta característica de la ciencia con todo lo que hemos dicho ya, la investigación bajo un paradigma debe ser particularmente efectiva, como método, para producir cambios de dicho paradigma. Esto es lo que hacen las novedades fundamentales fácticas y teóricas. Producidas de manera inadvertida por un juego llevado a cabo bajo un conjunto de reglas, su asimilación requiere la elaboración de otro conjunto. Después de convertirse en partes de la ciencia, la empresa, al menos la de los especialistas en cuyo campo particular caen las novedades, no vuelve a ser nunca la misma.

Debemos preguntarnos ahora cómo tienen lugar los cambios de este tipo, tomando en consideración, primero, los descubrimientos o novedades fácticas, y luego los inventos o novedades teóricas. Sin embargo, muy pronto veremos que esta distinción entre descubrimiento e invento o entre

facto y teoría resulta excesivamente artificial. Su artificialidad es un indicio importante para varias de las tesis principales de este ensayo. Al examinar en el resto de esta sección descubrimientos seleccionados, descubriremos rápidamente que no son sucesos aislados, sino episodios extensos, con una estructura que reaparece regularmente. El descubrimiento comienza con la percepción de la anomalía; o sea, con el reconocimiento de que en cierto modo la naturaleza ha violado las expectativas, inducidas por el paradigma, que rigen a la ciencia normal. A continuación, se produce una exploración más o menos prolongada de la zona de la anomalía. Y sólo concluye cuando la teoría del paradigma ha sido ajustada de tal modo que lo anormal se haya convertido en lo esperado. La asimilación de un hecho de tipo nuevo exige un ajuste más que aditivo de la teoría y en tanto no se ha llevado a cabo ese ajuste —hasta que la ciencia aprende a ver a la naturaleza de una manera diferente—, el nuevo hecho no es completamente científico.

Para ver cuán estrechamente entrelazadas se encuentran las novedades fácticas y las teóricas en un descubrimiento científico, examinemos un ejemplo particularmente famoso: el descubrimiento del oxígeno. Al menos tres hombres diferentes tienen la pretensión legítima de atribuírselo y varios otros químicos, durante los primeros años de la década de 1770, deben haber tenido aire enriquecido en un recipiente de laboratorio, sin saberlo.[6-1] El progreso de la ciencia normal, en este caso de la química neumática, preparó el camino para un avance sensacional, de manera muy completa. El primero de los que se atribuyen el descubrimiento, que preparó una muestra relativamente pura del gas, fue el farmacéutico sueco C. W. Secheele. Sin embargo, podemos pasar por alto su trabajo, debido a que no fue publicado sino hasta que el descubrimiento del oxígeno había sido ya anunciado repetidamente en otras partes y, por consiguiente, no tuvo efecto en el patrón histórico que más nos interesa en este caso.[6-2] El segundo en el tiempo que se atribuyó el descubrimiento, fue el científico y clérigo británico Joseph Priestley, quien recogió el gas liberado por óxido rojo de mercurio calentado, como un concepto en una investigación normal prolongada de los “aires” liberados por un gran número de substancias sólidas. En 1774, identificó el gas así producido como óxido nitroso y, en 1775, con la ayuda de otros experimentos, como aire común con una

cantidad menor que la usual de flogisto. El tercer descubridor, Lavoisier, inició el trabajo que lo condujo hasta el oxígeno después de los experimentos de Priestley de 1774 y posiblemente como resultado de una indicación de Priestley. A comienzos de 1775, Lavoisier señaló que el gas obtenido mediante el calentamiento del óxido rojo de mercurio era “el aire mismo, entero, sin alteración [excepto que]… sale más puro, más respirable”.[6-3] Hacia 1777, probablemente con la ayuda de una segunda indicación de Priestley, Lavoisier llegó a la conclusión de que el gas constituía una especie bien definida, que era uno de los dos principales componentes de la atmósfera, conclusión que Priestley no fue capaz de aceptar nunca.

Este patrón de descubrimiento plantea una pregunta que puede hacerse con respecto a todos y cada uno de los nuevos fenómenos que han llegado alguna vez a conocimiento de los científicos. ¿Fue Priestley o Lavoisier, si fue uno de ellos, el primero que descubrió el oxígeno? En cualquier caso, ¿cuándo fue descubierto el oxígeno? La pregunta podría hacerse en esta forma, incluso si no hubiera existido nunca más que un solo científico que se atribuyera el descubrimiento. Como regla sobre la prioridad y la fecha, no nos interesa en absoluto la respuesta. No obstante, un intento para encontrar una, serviría para esclarecer la naturaleza del descubrimiento, debido a que no existe ninguna respuesta del tipo buscado. El descubrimiento no es el tipo de proceso sobre el que se hace la pregunta de manera apropiada. El hecho de que se plantee —la prioridad por el oxígeno ha sido cuestionada repetidamente desde los años de la década de 1780— es un síntoma de algo desviado en la imagen de una ciencia, que concede al descubrimiento un papel tan fundamental. Veamos una vez más nuestro ejemplo. La pretensión de Priestley de que había descubierto el oxígeno, se basaba en su prioridad en el aislamiento de un gas que fue más tarde reconocido como un elemento definido. Pero la muestra de Priestley no era pura y, si el tener en las manos oxígeno impuro es descubrirlo, lo habrían hecho todos los que embotellaron aire atmosférico. Además, si el descubridor fue Priestley, ¿cuándo tuvo lugar el descubrimiento? En 1774 pensó que había obtenido óxido nitroso, una especie que conocía ya; en 1775 vio el gas como aire deflogistizado, que todavía no es oxígeno o que

incluso es, para los químicos flogísticos, un tipo de gas absolutamente inesperado. La pretensión de Lavoisier puede ser más contundente; pero presenta los mismos problemas. Si rehusamos la palma a Priestley, no podemos tampoco concedérsela a Lavoisier por el trabajo de 1775 que lo condujo a identificar el gas como “el aire mismo, entero”. Podemos esperar al trabajo de 1776 y 1777, que condujo a Lavoisier a ver no sólo el gas sino también qué era. Sin embargo, aun esta concesión podría discutirse, pues en 1777 y hasta el final de su vida Lavoisier insistió en que el oxígeno era un “principio de acidez” atómico y que el gas oxígeno se formaba sólo cuando ese “principio” se unía con calórico, la materia del calor.[6-4] Por consiguiente, ¿podemos decir que el oxígeno no había sido descubierto todavía en 1777? Algunos pueden sentirse tentados a hacerlo. Pero el principio de acidez no fue eliminado de la química hasta después de 1810 y el calórico hasta los años de la década de 1860. El oxígeno se había convertido en una sustancia química ordinaria antes de cualquiera de esas fechas.

Está claro que necesitamos conceptos y un nuevo vocabulario para analizar sucesos tales como el descubrimiento del oxígeno. Aunque sea indudablemente correcta, la frase “El oxígeno fue descubierto”, induce a error, debido a que sugiere que el descubrir algo es un acto único y simple, asimilable a nuestro concepto habitual de la visión (y tan discutible como él). Por eso suponemos con tanta facilidad que el descubrir, como el ver o el tocar, debe ser atribuible de manera inequívoca a un individuo y a un momento dado en el tiempo. Pero la última atribución es siempre imposible y la primera lo es con frecuencia. Ignorando a Scheele, podemos decir con seguridad que el oxígeno no fue descubierto antes de 1774 y podríamos decir también, probablemente, que fue descubierto aproximadamente en 1777 o muy poco tiempo después de esta fecha. Pero dentro de estos límites o de otros similares, cualquier intento para ponerle fecha al descubrimiento debe ser, de manera inevitable, arbitrario, ya que el descubrimiento de un tipo nuevo de fenómeno es necesariamente un suceso complejo, que involucra el reconocimiento, tanto de *que* algo existe como de *qué* es. Nótese, por ejemplo, que si el oxígeno fuera para nosotros aire deflogistizado insistiríamos sin vacilaciones en que Priestley lo descubrió,

aun cuando de todos modos no sabríamos exactamente cuándo. Pero si tanto la observación y la conceptualización, como el hecho y la asimilación a la teoría, están enlazadas inseparablemente en un descubrimiento, éste, entonces, es un proceso y debe tomar tiempo. Sólo cuando todas las categorías conceptuales pertinentes están preparadas de antemano, en cuyo caso el fenómeno no será de un tipo nuevo, podrá descubrirse sin esfuerzo *qué* existe y *qué* es, al mismo tiempo y en un instante.

Concedamos ahora que el descubrimiento involucra un proceso extenso, aunque no necesariamente prolongado, de asimilación conceptual. ¿Podríamos decir también que incluye un cambio en el paradigma? A esta pregunta no podemos darle todavía una respuesta general; pero, al menos en este caso preciso, la respuesta deberá ser afirmativa. Lo que anunció Lavoisier en sus escritos, a partir de 1777, no fue tanto el descubrimiento del oxígeno, como la teoría de la combustión del oxígeno. Esta teoría fue la piedra angular para una reformulación tan amplia de la química que, habitualmente, se la conoce como la revolución química. En realidad, si el descubrimiento del oxígeno no hubiera sido una parte íntimamente relacionada con el surgimiento de un nuevo paradigma para la química, la cuestión de la prioridad, de la que partimos, no hubiera parecido nunca tan importante. En este caso como en otros, el valor atribuido a un nuevo fenómeno y, por consiguiente, a su descubridor, varía de acuerdo con nuestro cálculo de la amplitud con la que dicho fenómeno rompía las previsiones inducidas por el paradigma. Sin embargo, puesto que será importante más adelante, nótese que el descubrimiento del oxígeno no fue por sí mismo la causa del cambio en la teoría química. Mucho antes de que desempeñara un papel en el descubrimiento del nuevo gas, Lavoisier estaba convencido, tanto de que había algo que no encajaba en la teoría del flogisto como de que los cuerpos en combustión absorbían alguna parte de la atmósfera. Eso lo había registrado ya en una nota sellada que depositó en la Secretaría de la Academia Francesa, en 1772.[6-5] Lo que logró el trabajo con el oxígeno fue dar forma y estructura adicionales al primer sentimiento de Lavoisier de que algo faltaba. Le comunicó algo que ya estaba preparado para descubrir: la naturaleza de la sustancia que la combustión sustrae de la atmósfera. Esta comprensión previa de las dificultades debe ser una parte

importante de lo que permitió ver a Lavoisier en experimentos tales como los de Priestley, un gas que éste había sido incapaz de ver por sí mismo. Recíprocamente, el hecho de que fuera necesaria la revisión de un paradigma importante para ver lo que vio Lavoisier debe ser la razón principal por la cual Priestley, hacia el final de su larga vida, no fue capaz de verlo.

Dos otros ejemplos mucho más breves reforzarán mucho lo que acabamos de decir y, al mismo tiempo, nos conducirán de la elucidación de la naturaleza de los descubrimientos hacia la comprensión de las circunstancias en las que surgen en la ciencia. En un esfuerzo por representar los modos principales en que pueden surgir los descubrimientos, escogimos estos ejemplos de tal modo que sean diferentes tanto uno del otro como ambos respecto del descubrimiento del oxígeno. El primero, el de los rayos X, es un caso clásico de descubrimiento por medio de un accidente, un tipo de descubrimiento que tiene lugar con mayor frecuencia de lo que nos permiten comprender las normas impersonales de la información científica. Su historia comienza el día en que el físico Roentgen interrumpió una investigación normal sobre los rayos catódicos debido a que había notado qué una pantalla de platino-cianuro de bario, a cierta distancia de su aparato protegido, resplandecía cuando se estaba produciendo la descarga. Investigaciones posteriores —requirieron siete agitadas semanas durante las que Roentgen raramente salió de su laboratorio— indicaron que la causa del resplandor procedía en línea recta del tubo de rayos catódicos, que las sombras emitidas por la radiación no podían ser desviadas por medio de un imán y muchas otras cosas. Antes de anunciar su descubrimiento, Roentgen se convenció de que su efecto no se debía a los rayos catódicos sino a un agente que, por lo menos, tenía cierta similitud con la luz.[6-6]

Incluso un tan breve resumen revela semejanzas sorprendentes con el descubrimiento del oxígeno: antes de experimentar con el óxido rojo de mercurio, Lavoisier había realizado experimentos que no produjeron los resultados previstos según el paradigma flogista; el descubrimiento de Roentgen se inició con el reconocimiento de que su pantalla brillaba cuando no debería hacerlo. En ambos casos, la percepción de la anomalía —o sea,

un fenómeno para el que el investigador no estaba preparado por su paradigma— desempeñó un papel esencial en la preparación del camino para la percepción de la novedad. Pero, también en estos dos casos, la percepción de que algo andaba mal fue sólo el preludio del descubrimiento. Ni el oxígeno ni los rayos X surgieron sin un proceso ulterior de experimentación y asimilación. Por ejemplo, ¿en qué momento de la investigación de Roentgen pudiéramos decir que los rayos X fueron realmente descubiertos? En todo caso, no fue al principio, cuando todo lo que el investigador había notado era una pantalla que resplandecía. Por lo menos otro investigador había visto ya ese resplandor y, con la pena consiguiente, no había logrado descubrir nada.[6-7] Podemos ver casi con la misma claridad que no podernos desplazar el momento del descubrimiento a un punto determinado durante la última semana de investigación, ya que en ese tiempo, Roentgen estaba explorando las propiedades de la nueva radiación que *ya* había descubierto. Sólo podemos decir que los rayos X surgieron en Würzburg entre el 8 de noviembre y el 28 de diciembre de 1895.

Sin embargo, en una tercera zona, la existencia de paralelismos importantes entre los descubrimientos del oxígeno y de los rayos X es mucho menos evidente. A diferencia del descubrimiento del oxígeno, el de los rayos X no estuvo implicado, al menos durante una década posterior al suceso, en ningún trastorno evidente de la teoría científica. Entonces, ¿en qué sentido puede decirse que la asimilación de ese descubrimiento haya hecho necesario un cambio del paradigma? Los argumentos para negar un cambio semejante son muy poderosos. Desde luego, los paradigmas aceptados por Roentgen y sus contemporáneos no hubieran podido utilizarse para predecir los rayos X. (La teoría electromagnética de Maxwell no había sido aceptada todavía en todas partes y la teoría particular de los rayos catódicos era sólo una de varias especulaciones corrientes). Pero tampoco prohibían esos paradigmas, al menos en un sentido obvio, la existencia de los rayos X, del modo como la teoría del flogisto había prohibido la interpretación dada por Lavoisier al gas de Priestley. Por el contrario, en 1895 la teoría científica aceptada y la práctica admitían una serie de formas de radiación —visible, infrarroja y ultravioleta. ¿Por qué no

habrían podido ser aceptados los rayos X como una forma más de una categoría bien conocida de fenómenos naturales? ¿Por qué no fueron recibidos de la misma forma que, por ejemplo, el descubrimiento de un elemento químico adicional? En la época de Roentgen, se estaban buscando y encontrando todavía nuevos elementos para llenar los vacíos de la tabla periódica. Su búsqueda era un proyecto ordinario de la ciencia normal y el éxito sólo era motivo de felicitaciones, no de sorpresa.

Sin embargo, los rayos X fueron recibidos no sólo con sorpresa sino con conmoción. Al principio, Lord Kelvin los declaró una burla muy elaborada. [6-8] Otros, aunque no podían poner en duda la evidencia, fueron sacudidos por el descubrimiento. Aunque la teoría establecida no prohibía la existencia de los rayos X, éstos violaban expectativas profundamente arraigadas. Esas expectativas, creo yo, se encontraban implícitas en el diseño y la interpretación de los procedimientos de laboratorio establecidos. Hacia 1890, el equipo de rayos catódicos era empleado ampliamente en numerosos laboratorios europeos. Si el aparato de Roentgen produjo rayos X, entonces otros numerosos experimentadores debieron estar produciendo esos mismos rayos, durante cierto tiempo, sin saberlo. Quizá esos rayos, que pudieran tener también otras fuentes desconocidas, estaban implícitos en un comportamiento previamente explicado sin referencia a ellos. Por lo menos, varios tipos de aparatos que durante mucho tiempo fueron familiares, en el futuro tendrían que ser protegidos con plomo. Los trabajos previamente concluidos sobre proyectos normales tendrían que hacerse nuevamente, debido a que los científicos anteriores no habían reconocido ni controlado una variable importante. En realidad, los rayos X abrieron un nuevo campo y, en esa forma, contribuyeron al caudal potencial de la ciencia normal. Pero, asimismo, y éste es ahora el punto más importante, cambiaron campos que ya existían. En el proceso, negaron a tipos de instrumentación previamente paradigmáticos el derecho a ese título.

En resumen, de manera consciente o no, la decisión de emplear determinado aparato y de usarlo de un modo particular, lleva consigo una suposición de que sólo se presentarán ciertos tipos de circunstancias. Hay expectativas tanto instrumentales como teóricas, y con frecuencia han desempeñado un papel decisivo en el desarrollo científico. Una de esas

expectativas es, por ejemplo, parte de la historia del tardío descubrimiento del oxígeno. Utilizando una prueba ordinaria para "la bondad del aire", tanto Priestley como Lavoisier mezclaron dos volúmenes de su gas con un volumen de óxido nítrico, sacudieron la mezcla sobre agua y midieron el volumen del residuo gaseoso. La experiencia previa de la que había surgido ese procedimiento ordinario les aseguró que, con aire atmosférico, el residuo sería un volumen y que para cualquier otro gas (o para el aire contaminado) sería mayor. En los experimentos sobre el oxígeno, ambos descubrieron un residuo cercano a un volumen e identificaron el gas en consecuencia. Sólo mucho más tarde y, en parte, a causa de un accidente, renunció Priestley al procedimiento ordinario y trató de mezclar óxido nítrico con su gas en otras proporciones. Descubrió entonces que con un volumen cuádruple de óxido nítrico casi no quedaba residuo en absoluto. Su fidelidad al procedimiento original de la prueba —procedimiento sancionado por muchos experimentos previos— había sido, simultáneamente, una aceptación de la no existencia de gases que pudieran comportarse como lo hizo el oxígeno.[6-9]

Podrían multiplicarse las ilustraciones de este tipo haciendo referencia, por ejemplo, a la identificación tardía de la fisión del uranio. Una de las razones por las que esa reacción nuclear resultó tan difícil de reconocer fue la de que los hombres que sabían qué podía esperarse del bombardeo del uranio, escogieron pruebas químicas encaminadas principalmente al descubrimiento de elementos situados, en el extremo superior de la tabla periódica.[6-10] ¿Debemos llegar a la conclusión de que la ciencia debería abandonar las pruebas ordinarias y los instrumentos normalizados, por la frecuencia con que esos compromisos instrumentales resultan engañosos? Esto daría como resultado un método inconcebible de investigación. Los procedimientos y las aplicaciones paradigmáticas son tan necesarios a la ciencia como las leyes y las teorías paradigmáticas y tienen los mismos efectos. Inevitablemente, restringen el campo fenomenológico accesible a la investigación científica en cualquier momento dado. Al reconocer esto, podemos ver simultáneamente un sentido esencial en el que un descubrimiento como el de los rayos X hace necesario un cambio del paradigma —y, por consiguiente, un cambio tanto de los procedimientos

como de las expectativas— para una fracción especial de la comunidad científica. Como resultado, de ello, podemos comprender también cómo el descubrimiento de los rayos X pudo parecer que abría un mundo nuevo y extraño a muchos científicos y por tanto pudo participar de manera tan efectiva en la crisis que condujo a la física del siglo XX.

Nuestro último ejemplo de descubrimientos científicos, el de la botella de Leyden, pertenece a una clase que pudiera describirse como inducida por la teoría. Inicialmente, ese término puede parecer paradójico. Gran parte de lo que hemos dicho hasta ahora sugiere que los descubrimientos predichos por la teoría son partes de la ciencia normal y no dan como resultado ningún *tipo nuevo* de hecho. Por ejemplo, me he referido previamente a los descubrimientos de nuevos elementos químicos durante la segunda mitad del siglo XIX como procedentes de la ciencia normal, en esa forma. Pero no todas las teorías pertenecen a paradigmas. Tanto durante los periodos anteriores a los paradigmas como durante las crisis que conducen a cambios en gran escala en los paradigmas, los científicos acostumbran desarrollar muchas teorías especulativas e inarticuladas, que pudieran señalar el camino hacia los descubrimientos. Sin embargo, con frecuencia el descubrimiento que se produce, no corresponde absolutamente al anticipado por las hipótesis especulativas y de tanteo. Sólo cuando el experimento y la teoría de tanteo se articulan de tal modo que coincidan, surge el descubrimiento y la teoría se convierte en paradigma.

El descubrimiento de la botella de Leyden muestra todas esas características, así como también las que hemos visto antes. Cuando se inició, no había un paradigma único para la investigación eléctrica. En lugar de ello, competían una serie de teorías, todas ellas derivadas de fenómenos relativamente accesibles. Ninguna de ellas lograba ordenar muy bien toda la variedad de fenómenos eléctricos. Este fracaso es la fuente de varias de las anomalías que proporcionaron la base para el descubrimiento de la botella de Leyden. Una de las escuelas competidoras de electricistas consideró a la electricidad un fluido y ese concepto condujo a una serie de científicos a intentar embotellar dicho fluido, sosteniendo en las manos una redoma de cristal llena de agua y tocando ésta con un conductor suspendido de un generador electrostático activo. Al retirar la redoma de la máquina y tocar el

agua (o un conductor conectado a ella) con la mano libre, cada uno de esos investigadores experimentaba un fuerte choque. Sin embargo, esos primeros experimentos no proporcionaron a esos investigadores la botella de Leyden. Este instrumento surgió más lentamente y, también en este caso, es imposible decir cuándo se completó el descubrimiento. Los primeros intentos de almacenar fluido eléctrico tuvieron buenos resultados sólo debido a que los investigadores sostenían la redoma en las manos mientras permanecían en pie en el suelo. Los electricistas tenían que aprender todavía que la redoma necesitaba una capa conductora tanto interior como exterior y que el fluido no se almacena realmente en la redoma. El artefacto que llamamos botella de Leyden surgió en algún momento, en el curso de las investigaciones que demostraron a los electricistas lo anterior y que les hicieron descubrir varios otros efectos anómalos. Además, los experimentos que condujeron a su descubrimiento, muchos de ellos llevados a cabo por Franklin, fueron también los que hicieron necesaria la revisión drástica de la teoría del fluido y, de ese modo, proporcionaron el primer paradigma completo para la electricidad.[6-11]

Hasta un punto mayor o menor (correspondiendo a la continuidad que va de resultados imprevistos al resultado previsto), las características comunes a los tres ejemplos antes citados, son también comunes a todos los descubrimientos de los que surgen nuevos tipos de fenómenos. Esas características incluyen: la percepción previa de la anomalía, la aparición gradual y simultánea del reconocimiento tanto conceptual como de observación y el cambio consiguiente de las categorías y los procedimientos del paradigma, acompañados a menudo por resistencia. Hay incluso pruebas de que esas mismas características están incluidas en la naturaleza del proceso mismo de percepción. En un experimento psicológico, que merece ser conocido mucho mejor fuera de la profesión, Bruner y Postman pidieron a sujetos experimentales que identificaran, en exposiciones breves y controladas, una serie de cartas de la baraja. Muchas de las cartas eran normales, pero algunas habían sido hechas anómalas; por ejemplo: un seis de espadas rojo y un cuatro de corazones negro. Cada etapa experimental estaba constituida por la muestra de una carta única a un sujeto único, en una serie gradualmente aumentada de exposiciones. Después de cada

exposición, se le preguntaba al sujeto qué había visto y se concluía el ciclo con dos identificaciones sucesivas correctas.[6-12]

Incluso en las exposiciones más breves, muchos sujetos identificaron la mayoría de las cartas y, después de un pequeño aumento, todos los sujetos las identificaron todas. Para las cartas normales, esas identificaciones eran habitualmente correctas; pero las cartas anormales fueron identificadas casi siempre, sin asombro o vacilación aparentes, como normales. El cuatro negro de corazones, por ejemplo, podía ser identificado como un cuatro, ya sea de picas o de corazones. Sin ninguna sensación del trastorno, se lo ajustaba inmediatamente a una de las categorías conceptuales preparadas por las experiencias previas. Ni siquiera podría decirse que los sujetos habían visto algo diferente de lo que identificaron. Con un mayor aumento del tiempo de exposición de las cartas anómalas, ciertos sujetos comenzaron a dudar y a dar muestras de que se daban cuenta de la existencia de una anomalía. Por ejemplo, antes el seis de picas rojo, algunos dirían: Es el seis de picas; pero tiene algo extraño, lo negro tiene un reborde rojo. Un aumento posterior de la exposición daba como resultado más dudas y confusión, hasta que, finalmente, y a veces de manera muy repentina, la mayoría de los sujetos llevaban a cabo la identificación correcta sin vacilaciones. Además, después de hacerlo así con dos o tres de las cartas anómalas, no tenían ya grandes dificultades con las siguientes. Sin embargo, unos cuantos sujetos no fueron capaces en ningún momento de llevar a cabo el ajuste necesario de sus categorías. Incluso a cuarenta veces la exposición media necesaria para reconocer las cartas normales con exactitud, más del 10 por ciento de las cartas anómalas no fueron identificadas correctamente. Y los sujetos que fallaron en esas condiciones mostraron, con frecuencia, un gran desaliento personal. Uno de ellos exclamó: “No puedo hacer la distinción, sea la que fuere. Ni siquiera me pareció ser una carta en esta ocasión; no sé de qué color era ni si se trataba de una pica o de un corazón. Ya ni siquiera estoy seguro de cómo son las picas. ¡Dios mío!”[6-13] En la sección siguiente, veremos a veces a científicos que también se comportan en esa forma.

Ya sea como metáfora o porque refleja la naturaleza de la mente, este experimento psicológico proporciona un esquema maravillosamente simple

y convincente para el proceso del descubrimiento científico. En la ciencia, como en el experimento con las cartas de la baraja, la novedad surge sólo dificultosamente, manifestada por la resistencia, contra el fondo que proporciona lo esperado. Inicialmente, sólo lo previsto y lo habitual se experimenta, incluso en circunstancias en las que más adelante podrá observarse la anomalía. Sin embargo, un mayor conocimiento da como resultado la percepción de algo raro o relaciona el efecto con algo que se haya salido antes de lo usual. Esta percepción de la anomalía abre un periodo en que se ajustan las categorías conceptuales, hasta que lo que era inicialmente anómalo se haya convertido en lo previsto. En ese momento, se habrá completado el descubrimiento. He insistido ya en que ese proceso u otro muy similar se encuentra involucrado en el surgimiento de todas las novedades científicas fundamentales. Ahora señalaré cómo, reconociendo el proceso, podemos comenzar por fin a comprender por qué la ciencia normal, una actividad no dirigida hacia las novedades y que al principio tiende a suprimirlas, puede, no obstante, ser tan efectiva para hacer que surjan.

En el desarrollo de cualquier ciencia, habitualmente se cree que el primer paradigma aceptado explica muy bien la mayor parte de las observaciones y experimentos a que pueden con facilidad tener acceso todos los que practican dicha ciencia. Por consiguiente, un desarrollo ulterior exige, normalmente, la construcción de un equipo complejo, el desarrollo de un vocabulario esotérico y de habilidades, y un refinamiento de los conceptos que se parecen cada vez menos a sus prototipos usuales determinados por el sentido común. Por una parte, esta profesionalización conduce a una inmensa limitación de la visión de los científicos y a una resistencia considerable al cambio del paradigma. La ciencia se hace así cada vez más rígida. Por otra parte, en los campos hacia los que el paradigma dirige la atención del grupo, la ciencia normal conduce a una información tan detallada y a una precisión tal en la coincidencia de la teoría y de la observación como no podrían lograrse de ninguna otra forma. Además, esa minuciosidad y esa precisión de la coincidencia tienen un valor que trasciende su interés intrínseco no siempre muy elevado. Sin el aparato especial que se construye principalmente para funciones previstas,

los resultados que conducen eventualmente a la novedad no podrían obtenerse. E incluso cuando existe el aparato, la novedad ordinariamente sólo es aparente para el hombre que, conociendo *con precisión* lo que puede esperar, está en condiciones de reconocer que algo anómalo ha tenido lugar. La anomalía sólo resalta contra el fondo proporcionado por el paradigma. Cuanto más preciso sea un paradigma y mayor sea su alcance, tanto más sensible será como indicador de la anomalía y, por consiguiente, de una ocasión para el cambio del paradigma. En la forma normal del descubrimiento, incluso la resistencia al cambio tiene una utilidad que exploraremos más detalladamente en la sección siguiente. Asegurando que no será fácil derrumbar el paradigma, la resistencia garantiza que los científicos no serán distraídos con ligereza y que las anomalías que conducen al cambio del paradigma penetrarán hasta el fondo de los conocimientos existentes. El hecho mismo de que, tan a menudo, una novedad científica importante surja simultáneamente de varios laboratorios es un índice tanto de la poderosa naturaleza tradicional de la ciencia normal como de lo completamente que esta actividad tradicional prepara el camino para su propio cambio.

VII. Las crisis y la emergencia de las teorías científicas

TODOS los descubrimientos examinados en la Sección VI fueron causas de cambio de paradigmas o contribuyeron a él. Además, los cambios en que estuvieron implicados esos descubrimientos fueron tanto destructivos como constructivos. Después de que el descubrimiento había sido asimilado, los científicos se encontraban en condiciones de explicar una gama más amplia de fenómenos naturales o de explicar con mayor precisión algunos de los previamente conocidos. Pero este avance se logró sólo descartando ciertas creencias y procedimientos previamente aceptados y, simultáneamente, reemplazando esos componentes del paradigma previo por otros. He insistido ya en que los cambios de este tipo están asociados a todos los descubrimientos logrados por la ciencia normal, exceptuando sólo los no sorprendentes, previstos en todo, con excepción de los detalles. Sin embargo, los descubrimientos no son las únicas fuentes de esos cambios, tanto destructivos como constructivos, de los paradigmas. En esta sección comenzaremos a estudiar los cambios similares, pero generalmente mucho mayores, que son el resultado de la formulación de nuevas teorías.

Habiendo visto ya que en las ciencias, hecho y teoría, descubrimiento e invento, no son categórica y permanentemente diferentes, podemos esperar que haya coincidencias entre esta sección y la anterior. (La sugestión imposible de que Priestley fue el primero en descubrir el oxígeno y de que Lavoisier lo inventó más tarde, tiene sus atractivos. Ya hemos encontrado el oxígeno como descubrimiento; pronto lo veremos como invento). Al ocuparnos del surgimiento de nuevas teorías, es también inevitable que ampliemos nuestra comprensión de los descubrimientos. Sin embargo,

coincidencia en ciertos puntos no es lo mismo que identidad. Los tipos de descubrimientos estudiados en la sección anterior no fueron responsables, al menos por sí solos, de los cambios de paradigmas que se produjeron en revoluciones tales como la de Copérnico, la de Newton, la química y la de Einstein. Tampoco fueron responsables de los cambios de paradigma algo menores (debido a que fueron más exclusivamente profesionales) producidos por la teoría ondulatoria de la luz, la teoría dinámica del calor o la teoría electromagnética de Maxwell. ¿Cómo pueden surgir teorías como ésas de la ciencia normal, una actividad todavía menos dirigida a ellas que a los descubrimientos?

Si la percepción de la anomalía desempeña un papel en la aparición de nuevos tipos de fenómenos, no deberá sorprender a nadie que una percepción similar, aunque más profunda, sea un requisito previo para todos los cambios aceptables de teoría. Creo que en este punto, las pruebas históricas son absolutamente inequívocas. El estado de la astronomía de Tolomeo era un escándalo, antes del anuncio de Copérnico.[7-1] Las contribuciones de Galileo al estudio del movimiento dependieron estrechamente de las dificultades descubiertas en la teoría aristotélica por los críticos escolásticos.[7-2] La nueva teoría de Newton sobre la luz y el color tuvo su origen en el descubrimiento de que ninguna de las teorías existentes antes del paradigma explicaban la longitud del espectro, y la teoría de las ondas, que reemplazó a la de Newton, surgió del interés cada vez mayor por las anomalías en la relación de los efectos de difracción y polarización con la teoría de Newton.[7-3] La termodinámica nació de la colisión de dos teorías físicas existentes en el siglo XIX, y la mecánica cuántica, de una diversidad de dificultades que rodeaban a la radiación de un cuerpo negro, a calores específicos y al efecto fotoeléctrico.[7-4] Además, en todos esos casos con excepción del de Newton, la percepción de la anomalía había durado tanto y había penetrado tan profundamente, que sería apropiado describir los campos afectados por ella como en estado de crisis creciente. Debido a que exige la destrucción de paradigmas en gran escala y cambios importantes en los problemas y las técnicas de la ciencia normal, el surgimiento de nuevas teorías es precedido generalmente por un periodo de inseguridad profesional profunda. Como podría esperarse, esta

inseguridad es generada por el fracaso persistente de los enigmas de la ciencia normal para dar los resultados apetecidos. El fracaso de las reglas existentes es el que sirve de preludio a la búsqueda de otras nuevas.

Examinemos primeramente un caso particularmente famoso de cambio de paradigma, el surgimiento de la astronomía de Copérnico. Cuando su predecesor, el sistema de Tolomeo, fue desarrollado durante los dos siglos anteriores a Cristo y los dos primeros de nuestra era, tuvo un éxito admirable en la predicción de los cambios de posición tanto de los planetas como de las estrellas. Ningún otro sistema antiguo había dado tan buenos resultados; con respecto a las estrellas, la astronomía de Tolomeo es utilizada todavía en la actualidad, con bastante amplitud, como manual de aproximación de ingeniería; con respecto a los planetas, las predicciones de Tolomeo eran tan buenas como las de Copérnico. Pero para una teoría científica, el tener un éxito admirable no es lo mismo que tener un éxito completo. Con respecto tanto a la posición planetaria como a la precesión de los equinoccios, las predicciones hechas con el sistema de Tolomeo nunca se conformaron por completo a las mejores observaciones disponibles. La posterior reducción de esas pequeñas discrepancias constituyó, para un gran número de los sucesores de Tolomeo, muchos de los principales problemas de la investigación astronómica normal, del mismo modo como un intento similar para hacer coincidir la observación del cielo con la teoría de Newton, proporcionó en el siglo XVIII problemas de investigación normal a los sucesores de Newton. Durante cierto tiempo, los astrónomos tenían todas las razones para suponer que esos intentos tendrían tanto éxito como los que habían conducido al sistema de Tolomeo. Cuando se presentaba una discrepancia, los astrónomos siempre eran capaces de eliminarla, mediante algún ajuste particular del sistema de Ptolomeo de los círculos compuestos. Pero conforme pasó el tiempo, un hombre que examinara el resultado neto del esfuerzo de investigación normal de muchos astrónomos podía observar que la complejidad de la astronomía estaba aumentando de manera mucho más rápida que su exactitud y que las discrepancias corregidas en un punto tenían probabilidades de presentarse en otro.[7-5]

Debido a que la tradición astronómica fue interrumpida repetidamente desde el exterior y a que, en ausencia de la imprenta, la comunicación entre los astrónomos era limitada, esas dificultades sólo lentamente fueron reconocidas. Pero se produjo la percepción. Durante el siglo XIII, Alfonso X pudo proclamar que si Dios lo hubiera consultado al crear el Universo, hubiera recibido un buen consejo. En el siglo XVI, Domenico da Novara, colaborador de Copérnico, sostuvo que ningún sistema tan complicado e inexacto como había llegado a ser el de Tolomeo, podía existir realmente en la naturaleza. Y el mismo Copérnico escribió en el Prefacio al *De Revolutionibus*, que la tradición astronómica que había heredado sólo había sido capaz de crear un monstruo. A principios del siglo XVI, un número cada vez mayor de los mejores astrónomos europeos reconocía que el paradigma astronómico fallaba en sus aplicaciones a sus propios problemas tradicionales. Este reconocimiento fue el requisito previo para que Copérnico rechazara el paradigma de Tolomeo y se diera a la búsqueda de otro nuevo. Su famoso prefacio es aún una de las descripciones clásicas de un estado de crisis.[7-6]

Por supuesto, el derrumbamiento de la actividad técnica normal de resolución de enigmas no fue el único ingrediente de la crisis astronómica a la que se enfrentó Copérnico. Un estudio más amplio revelaría también la presión social en pro de la reforma del calendario, presión que volvió particularmente apremiante al enigma de la precesión. Además, una explicación más completa tomaría en consideración la crítica medieval a Aristóteles, el ascenso del neoplatonismo en el Renacimiento, así como también otros elementos históricos significativos. Pero el desbarajuste técnico seguiría siendo todavía el centro de la crisis. En una ciencia madura —y la astronomía había llegado a serlo ya en la Antigüedad— los factores externos como los que acabamos de mencionar tienen una importancia particular en la determinación del momento del derrumbamiento, en la facilidad con que puede ser reconocido y en el campo donde, debido a que se le concede una atención particular, ocurre primeramente el trastorno. Aunque inmensamente importantes, cuestiones de ese tipo se encuentran fuera de los límites de este ensayo.

Si todo esto está claro ya con respecto a la revolución de Copérnico, pasemos a un segundo ejemplo bastante diferente, la crisis que precedió a la aparición de la teoría de Lavoisier sobre la combustión del oxígeno. En los años de la década de 1770, se combinaron muchos factores para generar una crisis en la química y los historiadores no están completamente de acuerdo ya sea respecto a su naturaleza o a su importancia relativa. Pero se acepta generalmente que dos de esos factores tuvieron una importancia de primera magnitud: el nacimiento de la química neumática y la cuestión de las relaciones de peso. La historia del primero se inicia en el siglo XVII con el desarrollo de la bomba de aire y su utilización en la experimentación química. Durante el siglo siguiente, utilizando esa bomba y otros numerosos artefactos neumáticos, los químicos llegaron a comprender, cada vez mejor, que el aire debía ser un ingrediente activo de las reacciones químicas. Pero con pocas excepciones —tan equívocas que pueden no ser consideradas como excepciones— los químicos continuaron creyendo que el aire era él único tipo de gas. Hasta 1756, cuando Joseph Black demostró que el aire fijo (CO_2) se distinguía claramente del aire normal, se creía que dos muestras de gas eran sólo diferentes por sus impurezas.[7-7]

Después del trabajo de Black, la investigación de los gases se llevó a cabo rápidamente, principalmente por Cavendish, Priestley y Scheele quienes juntos, desarrollaron una serie de técnicas nuevas, capaces de distinguir una muestra de gas de otra. Todos esos hombres, desde Black hasta Scheele, creían en la teoría del flogisto y la empleaban a menudo en el diseño y la interpretación de sus experimentos. En realidad, Scheele produjo oxígeno por primera vez, mediante una cadena compleja de experimentos destinados a deflogistizar el calor. Sin embargo, el resultado neto de sus experimentos fue una variedad de muestras de gases y de propiedades de estos tan complejas, que la teoría del flogisto resultó cada vez menos capaz de hacer frente a la experiencia de laboratorio. Aunque ninguno de esos químicos sugirió que era preciso reemplazar la teoría, fueron incapaces de aplicarla de manera consistente. Para cuando Lavoisier inició sus experimentos con el aire, durante los primeros años de la década de 1770, había casi tantas versiones de la teoría flogística como químicos

neumáticos.[7-8] Esta proliferación de versiones de una teoría es un síntoma muy usual de crisis. En su prefacio, Copérnico se quejaba también de ello.

Sin embargo, la vaguedad creciente y la utilidad cada vez menor de la teoría del flogisto para la química neumática no fueron las únicas causas de la crisis a que se enfrentó Lavoisier. Estaba también muy interesado en explicar el aumento de peso que experimentan la mayoría de los cuerpos cuando se queman o se calientan, y éste es un problema que también tiene una larga prehistoria. Al menos varios químicos del Islam habían reconocido que algunos metales aumentan de peso cuando se calientan. En el siglo XVII varios investigadores habían llegado a la conclusión, a partir de ese mismo hecho, de que un metal calentado toma algún elemento de la atmósfera. Pero en el siglo XVII esa conclusión les pareció innecesaria a la mayoría de los químicos. Si las reacciones químicas podían alterar el volumen, el color y la textura de los ingredientes, ¿por qué no podían modificar también el peso? No siempre se consideraba que el peso era la medida de la cantidad de materia; además, el aumento de peso mediante el calentamiento continuaba siendo un fenómeno aislado. La mayoría de los cuerpos naturales (p. ej. la madera) pierden peso al ser calentados, como diría más tarde la teoría del flogisto.

Sin embargo, durante el siglo XVIII, esas respuestas inicialmente adecuadas para el problema del aumento de peso se hicieron cada vez más difíciles de sostener. En parte debido a que la balanza se utilizaba cada vez más como instrumento ordinario de química y en parte porque el desarrollo de la química neumática hizo posible y conveniente retener los productos gaseosos de las reacciones, los químicos descubrieron muchos otros casos en los que el calentamiento iba acompañado por un aumento de peso. Simultáneamente, la asimilación gradual de la teoría gravitacional de Newton condujo a los químicos a insistir en que el aumento de peso debía significar un incremento de la cantidad de materia. Esas conclusiones no dieron como resultado el rechazo de la teoría del flogisto, debido a que esta teoría podía ajustarse de muchas formas diferentes. Era posible que el flogisto tuviera un peso negativo o que partículas de fuego o alguna otra cosa entrara al cuerpo calentado, al salir el flogisto. Había otras explicaciones, además. Pero si el problema del aumento de peso no condujo

al rechazo, sí llevó a un número cada vez mayor de estudios especiales en los que dicho problema tenía una gran importancia. Uno de ellos “Sobre el flogisto considerado como una sustancia con peso y [analizado] en términos de los cambios de peso que produce en los cuerpos con los que se une”, fue leído ante la Academia Francesa en 1772, el año que concluyó con la entrega que hizo Lavoisier de su famosa nota sellada a la Secretaría de la Academia Francesa. Antes de que se escribiera esa nota, un problema que había estado al borde de la percepción consciente de los químicos durante muchos años, se había convertido en un enigma extraordinario y no resuelto.[7-9] Se estaban formulando muchas versiones diferentes de la teoría del flogisto para responder a él. Como los problemas de la química neumática, los del aumento de peso estaban haciendo que resultara cada vez más difícil saber qué era la teoría del flogisto. Aunque todavía era creído y aceptado como instrumento de trabajo, un paradigma de la química del siglo XVIII estaba perdiendo gradualmente su *status* único. Cada vez más, la investigación que guiaba se iba pareciendo a la llevada a cabo por las escuelas en competencia del periodo anterior al paradigma, otro efecto típico de la crisis.

Examinemos ahora, como tercer y último ejemplo, la crisis de la física a fines del siglo XIX, que preparó el camino para el surgimiento de la teoría de la relatividad. Una de las raíces de esta crisis puede remontarse en el tiempo hasta el siglo XVII, cuando una serie de filósofos naturales, principalmente Leibniz, criticaron la retención por Newton de una versión modernizada de la concepción clásica del espacio absoluto.[7-10] Eran casi capaces, aunque no completamente, de demostrar que las posiciones absolutas y los movimientos absolutos carecían de función en el sistema de Newton y lograron adivinar el atractivo estético considerable que llegaría a tener, más adelante, una concepción plenamente relativista del espacio y el movimiento. Pero su crítica era puramente lógica. Como los primeros seguidores de Copérnico que criticaban las pruebas proporcionadas por Aristóteles sobre la estabilidad de la tierra, no soñaban que la transición a un sistema relativista pudiera tener consecuencias en la observación. En ningún punto relacionaron sus opiniones con los problemas que se presentaron al aplicar la teoría de Newton a la naturaleza. Como resultado,

sus opiniones murieron al mismo tiempo que ellos, durante las primeras décadas del siglo XVIII, resucitando sólo en las últimas décadas del XIX, cuando tenían una relación muy diferente con la práctica de la física.

Los problemas técnicos con los cuales, en última instancia, iba a relacionarse una filosofía relativista del espacio, comenzaron a entrar a la ciencia normal con la aceptación de la teoría ondulatoria de la luz, después de 1815, aproximadamente; aunque no produjeron ninguna crisis hasta los años de la década de 1890. Si la luz es un movimiento ondulatorio que se propaga en un éter mecánico gobernado por las leyes de Newton, entonces tanto la observación del cielo como la experimentación terrestre se hacen potencialmente capaces de detectar el desplazamiento a través del éter. De las observaciones del cielo, sólo las de la aberración prometían una exactitud suficiente para proporcionar información importante y el descubrimiento del desplazamiento en el éter por medio de mediciones de la aberración se convirtió, por consiguiente, en un problema reconocido para la investigación normal. Se construyó cantidad de equipo especial para resolverlo. Sin embargo, ese equipo no detectaba ningún desplazamiento observable y, así, el problema fue transferido de los experimentadores y los observadores a los teóricos. Durante las décadas de la mitad del siglo, Fresnel, Stokes y otros inventaron numerosas articulaciones de la teoría del éter destinadas a explicar el fracaso para observar el desplazamiento. Cada una de esas articulaciones suponía que un cuerpo en movimiento arrastra consigo una fracción del éter. Y todas ellas tenían un éxito suficiente para explicar los resultados negativos no sólo de las observaciones celestes, sino también de la experimentación terrestre, incluyendo el famoso experimento de Michelson y Morley.[7-11] No había todavía conflicto, salvo el que existía entre las diversas articulaciones. A falta de técnicas experimentales pertinentes, ese conflicto nunca se volvió agudo.

La situación volvió a cambiar sólo con la aceptación gradual de la teoría electromagnética de Maxwell durante las dos últimas décadas del siglo XIX. Maxwell mismo era un seguidor de Newton, que creía que la luz y el electromagnetismo en general se debían a desplazamientos variables de las partículas de un éter mecánico. Sus primeras versiones de una teoría sobre la electricidad y el magnetismo utilizaron directamente propiedades

hipotéticas que atribuía a ese medio. Todo ello fue excluido de su versión final; pero continuó creyendo que su teoría electromagnética era compatible con alguna articulación de la concepción mecánica de Newton.[7-12] El desarrollo de una articulación apropiada constituyó un desafío, tanto para él como para sus sucesores. Sin embargo, en la práctica, como ha sucedido repetidas veces en el desarrollo científico, la articulación necesaria resultó inmensamente difícil de lograr. Del mismo modo como la proposición astronómica de Copérnico, a pesar del optimismo de su autor, creó una crisis cada vez mayor de las teorías existentes del movimiento, la teoría de Maxwell, a pesar de su origen newtoniano, produjo en última instancia una crisis para el paradigma del que surgió.[7-13] Además, el punto en el que la crisis se hizo más aguda fue proporcionado por los problemas que acabamos de considerar, los del movimiento con respecto al éter.

La discusión hecha por Maxwell del comportamiento electromagnético de los cuerpos en movimiento no se refirió al arrastre del éter y, además, resultó muy difícil introducir en su teoría dicho arrastre. Como resultado de ello, toda una serie de observaciones destinadas a detectar el desplazamiento a través del éter se hizo anómala. Por consiguiente, los años posteriores a 1890 conocieron una larga serie de intentos, tanto experimentales como teóricos, para detectar el movimiento con respecto al éter y para introducir el arrastre del éter en la teoría de Maxwell. Los primeros carecieron uniformemente de éxito, aun cuando algunos analistas consideraron sus resultados como erróneos. Los últimos produjeron una serie de puntos de partida prometedores, sobre todo los de Lorentz y Fitzgerald; pero descubrieron también otros enigmas y finalmente dieron como resultado precisamente esa proliferación de teorías en competencia que hemos visto previamente como síntoma de crisis.[7-14] Fue en medio de ese momento histórico cuando surgió, en 1905, la teoría especial de la relatividad, de Einstein.

Esos tres ejemplos son casi completamente típicos. En cada caso, sólo surgió una nueva teoría después de un fracaso notable de la actividad normal de resolución de problemas. Además, excepto en el caso de Copérnico, en el que ciertos factores exteriores a la ciencia desempeñaron un papel muy importante, ese derrumbamiento y la proliferación de teorías,

que es su síntoma, tuvieron lugar no más de una o dos décadas antes de la enunciación de la nueva teoría. La teoría nueva parece una respuesta directa a la crisis. Nótese también, aun cuando ello pueda no parecer tan típico, que los problemas con respecto a los que se presentan los derrumbamientos, eran todos de un tipo reconocido desde mucho tiempo antes. La práctica previa de la ciencia normal había proporcionado toda clase de razones para creerlos resueltos o casi resueltos, lo cual contribuye a explicar por qué el sentimiento de fracaso, al producirse, pudo ser tan agudo. El fracaso con un problema nuevo es, a veces, decepcionante; pero nunca sorprendente. Ni los problemas ni los enigmas ceden generalmente ante los primeros ataques. Finalmente, esos ejemplos comparten otra característica que puede contribuir a hacer que el argumento en pro del papel desempeñado por la crisis, resulte impresionante: la solución de todos y cada uno de ellos había sido, al menos en parte, prevista durante un periodo en que no había crisis en la ciencia correspondiente; y en ausencia de crisis, esas previsiones fueron desdeñadas.

La única previsión completa es también la más famosa, la de Copérnico por Aristarco, en el siglo III a. C. Se dice frecuentemente que si la ciencia griega hubiera sido menos deductiva y menos regida por dogmas, la astronomía heliocéntrica habría podido iniciar su desarrollo dieciocho siglos antes.[7-15] Pero esto equivale a pasar por alto todo el contexto histórico. Cuando Aristarco hizo su sugerencia, el mucho más razonable sistema geocéntrico no tenía necesidades de las cuales pudiera concebirse que sólo un sistema heliocéntrico pudiera satisfacer. Todo el desarrollo de la astronomía de Tolomeo, tanto sus triunfos como su quiebra, corresponde a los siglos posteriores a la proposición de Aristarco. Además, no había razones evidentes para tomar en serio a Aristarco. Ni siquiera la proposición más completa de Copérnico era más simple o más exacta que el sistema de Tolomeo. Las pruebas de la observación disponibles, como veremos más claramente a continuación, no proporcionaban una base para la elección entre los dos sistemas. En esas circunstancias, uno de los factores que condujeron a los astrónomos hacia Copérnico (factor que no podía haberlos llevado a Aristarco) fue la crisis reconocida que, en primer lugar, fue responsable de la innovación. La astronomía de Tolomeo no había

logrado resolver sus problemas y había llegado el momento de que surgiera un competidor. Nuestros otros dos ejemplos no proporcionan previsiones tan completas. Pero, seguramente, una de las razones por las que las teorías de la combustión por absorción de la atmósfera —desarrolladas en el siglo XVII por Rey, Hooke y Mayow— no lograron hacerse escuchar suficientemente, fue que no entraron en contacto con ningún punto en conflicto en la práctica de la ciencia normal.[7-16] Y el prolongado desdén mostrado por los científicos de los siglos XVIII y XIX hacia las críticas relativistas de Newton, debe haber tenido como causa principal una similar falta de confrontación.

Los filósofos de la ciencia han demostrado repetidamente que siempre se puede tomar base mas que en una construcción teórica, sobre una colección de datos determinada. La historia de la ciencia indica que, sobre todo en las primeras etapas de desarrollo de un nuevo paradigma, ni siquiera es muy difícil inventar esas alternativas. Pero es raro que los científicos se dediquen a tal invención de alternativas, excepto durante la etapa anterior al paradigma del desarrollo de su ciencia y en ocasiones muy especiales de su evolución subsiguiente. En tanto los instrumentos que proporciona un paradigma continúan mostrándose capaces de resolver los problemas que define, la ciencia tiene un movimiento más rápido y una penetración más profunda por medio del empleo confiado de esos instrumentos. La razón es clara. Lo mismo en la manufactura que en la ciencia, el volver a diseñar herramientas es una extravagancia reservada para las ocasiones en que sea absolutamente necesario hacerlo. El significado de las crisis es la indicación que proporcionan de que ha llegado la ocasión para rediseñar las herramientas.

VIII. La respuesta a la crisis

SUPONGAMOS entonces que las crisis son una condición previa y necesaria para el nacimiento de nuevas teorías y preguntémonos después cómo responden los científicos a su existencia. Parte de la respuesta, tan evidente como importante, puede descubrirse haciendo notar primeramente lo que los científicos nunca hacen, ni siquiera cuando se enfrentan a anomalías graves y prolongadas. Aun cuando pueden comenzar a perder su fe y, a continuación a tomar en consideración otras alternativas, no renuncian al paradigma que los ha conducido a la crisis. O sea, a no tratar las anomalías como ejemplos en contrario, aunque, en el vocabulario de la filosofía de la ciencia, eso es precisamente lo que son. Esta generalización es en parte, simplemente una afirmación del hecho histórico, basada en ejemplos como los mencionados antes y, de manera más detallada, los que se mencionarán a continuación. Esto indica lo que nuestro examen posterior del rechazo del paradigma establecerá de manera más clara y completa: una vez que ha alcanzado el *status* de paradigma, una teoría científica se declara inválida sólo cuando se dispone de un candidato alternativo para que ocupe su lugar. Ningún proceso descubierto hasta ahora por el estudio histórico del desarrollo científico se parece en nada al estereotipo metodológico de la demostración de falsedad, por medio de la comparación directa con la naturaleza. Esta observación no significa que los científicos no rechacen las teorías científicas o que la experiencia y la experimentación no sean esenciales en el proceso en que lo hacen. Significa (lo que será al fin de cuentas un punto central) que el acto de juicio que conduce a los científicos a rechazar una teoría aceptada previamente, se basa siempre en más de una comparación de dicha teoría con el mundo. La decisión de rechazar un

paradigma es siempre, simultáneamente, la decisión de aceptar otro, y el juicio que conduce a esa decisión involucra la comparación de ambos paradigmas con la naturaleza y la comparación entre ellos.

Además, existe una segunda razón para poner en duda que los científicos rechacen paradigmas debido a que se enfrentan a anomalías o a ejemplos en contrario. Al desarrollarlo, mi argumento, por sí solo, delineará otra de las tesis principales de este ensayo. Las razones para dudar que antes bosquejamos eran puramente fácticas; o sea, ellas mismas eran ejemplos en contrario de una teoría epistemológica prevaleciente. Como tal, si mi argumento es correcto, pueden contribuir cuando mucho a crear una crisis o, de manera más exacta, a reforzar alguna que ya exista. No pueden por sí mismos demostrar que esa teoría filosófica es falsa y no lo harán, puesto que sus partidarios harán lo que hemos visto ya que hacen los científicos cuando se enfrentan a las anomalías. Inventarán numerosas articulaciones y modificaciones *ad hoc* de su teoría para eliminar cualquier conflicto aparente. En realidad, muchas de las modificaciones y de las calificaciones pertinentes pueden hallarse ya en la literatura. Por consiguiente, si esos ejemplos en contrario epistemológicos llegan a constituir algo más que un ligero irritante, será debido a que contribuyen a permitir el surgimiento de un análisis nuevo y diferente de la ciencia, dentro del que ya no sean causa de dificultades. Además, si se aplica aquí un patrón típico, que observaremos más adelante en las revoluciones científicas, esas anomalías no parecerán ya hechos simples. A partir de una nueva teoría del conocimiento científico, pueden parecerse mucho a tautologías, enunciados de situaciones que no pueden concebirse que fueran de otro modo.

Por ejemplo, con frecuencia se ha observado que la segunda ley del movimiento de Newton, aun cuando fueron necesarios varios siglos de difícil investigación, teórica y fáctica para llegar a ella, desempeña, para los partidarios de la teoría de Newton, un papel muy similar al de un enunciado puramente lógico, que ningún número de observaciones podría refutar.[8-1] En la Sección X veremos que la ley química de las proporciones constantes, que antes de Dalton era un descubrimiento experimental ocasional, de aplicación general muy dudosa, se convirtió, después de su trabajo, en un

ingrediente de una definición de compuesto químico que ningún trabajo experimental hubiera podido trastornar. Algo muy similar puede suceder también con la generalización de que los científicos dejan de rechazar los paradigmas cuando se enfrentan a anomalías o ejemplos en contrario. Pueden no hacerlo así y, no obstante, continuar siendo científicos.

Aunque es improbable que la historia recuerde sus nombres, es indudable que algunos hombres han sido impulsados a abandonar la ciencia debido a su incapacidad para tolerar la crisis. Como los artistas, los científicos creadores deben ser capaces de vivir, a veces, en un mundo desordenado; en otro lugar, he descrito esta necesidad como "la tensión esencial" implícita en la investigación científica.[8-2] Pero este rechazo de la ciencia en favor de alguna otra ocupación es, creo yo, el único tipo de rechazo de paradigma al que pueden, por sí mismos, conducir los ejemplos en contrario. Una vez descubierto un primer paradigma a través del cual ver la naturaleza, no existe ya la investigación con ausencia de paradigmas. El rechazar un paradigma sin reemplazarlo con otro, es rechazar la ciencia misma. Ese acto no se refleja en el paradigma sino en el hombre. De manera inevitable, será considerado por sus colegas como "el carpintero que culpa a sus herramientas".

A la inversa puede llegarse al mismo punto, con una eficiencia, al menos, similar: no existe la investigación sin ejemplos en contrario. ¿Qué es lo que diferencia a la ciencia normal de la ciencia en estado de crisis? Seguramente, no el hecho de que la primera no se enfrente a ejemplos en contrario. A la inversa, lo que hemos llamado con anterioridad los enigmas que constituyen la ciencia normal, existen sólo debido a que ningún paradigma que proporcione una base para la investigación científica resuelve completamente todos sus problemas. En los pocos casos en que parecen haberlo hecho (p. ej. la visión geométrica), pronto han dejado de constituir problemáticas para la investigación y se han convertido en instrumentos para el trabajo práctico. Con excepción de aquellos que son exclusivamente instrumentales, todos los problemas que la ciencia normal considera como enigmas pueden, desde otra perspectiva, verse como ejemplos en contrario y por consiguiente como fuentes de crisis. Copérnico consideró ejemplos en contrario lo que la mayor parte de los demás

seguidores de Tolomeo habían considerado como enigmas en el ajuste entre la observación y la teoría. Lavoisier *vio* como un ejemplo en contrario lo que Priestley había considerado como un enigma resuelto con éxito en la articulación de la teoría del flogisto. Y Einstein vio como ejemplos en contrario lo que Lorentz, Fitzgerald y otros habían considerado como enigmas en la articulación de las teorías de Newton y de Maxwell. Además, ni siquiera la existencia de una crisis transforma por sí misma a un enigma en un ejemplo en contrario. No existe tal línea divisoria precisa. En lugar de ello, provocando una proliferación de versiones del paradigma, la crisis debilita las reglas de resolución normal de enigmas, en modos que, eventualmente, permiten la aparición de un nuevo paradigma. Creo que hay solamente dos alternativas: o ninguna teoría científica enfrenta nunca un ejemplo en contrario, o todas las teorías se ven en todo tiempo confrontadas con ejemplos en contrario.

¿Cómo podía parecer diferente la situación? Esta pregunta conduce, necesariamente, a la elucidación histórica y crítica de la filosofía y esos tópicos quedan fuera de este ensayo. Pero, al menos, podemos señalar dos razones por las que la ciencia parece haber proporcionado un ejemplo tan adecuado de la generalización de que la verdad y la falsedad se determinan únicamente y de manera inequívoca, por medio de la confrontación del enunciado con los hechos. La ciencia normal se esfuerza y deberá esforzarse continuamente por hacer que la teoría y los hechos vayan más de acuerdo y esta actividad puede verse fácilmente como una prueba o una búsqueda de confirmación o falsedad. En lugar de ello, su objeto es resolver un enigma para cuya existencia misma debe suponerse la validez del paradigma. El no lograr una solución desacredita sólo al científico, no a la teoría. En este caso, todavía más que en el anterior, se aplica el proverbio de que: “Es mal carpintero el que culpa a sus herramientas”. Además, el modo en que la pedagogía de la ciencia embrolla la discusión de una teoría con observaciones sobre ejemplos de sus aplicaciones, ha contribuido a reforzar una teoría de confirmación extraída principalmente de otras fuentes. Si tiene la menor razón para hacerlo, el hombre que lea un texto científico podrá llegar con facilidad a considerar las aplicaciones como la prueba de una teoría, como las razones por las cuales debe creerse en ella. Pero los

estudiantes de ciencias aceptan teorías por la autoridad del profesor y de los textos, no a causa de las pruebas. ¿Qué alternativas tienen, o qué competencia? Las aplicaciones mencionadas en los textos no se dan como pruebas, sino debido a que el aprenderlas es parte del aprendizaje del paradigma dado como base para la práctica corriente. Si se avanzaran las aplicaciones como pruebas, entonces el fracaso de los textos para sugerir interpretaciones alternativas o para discutir problemas para los que los científicos no han logrado producir soluciones paradigmáticas, acusarían a los autores de parcialidad extrema. No existe ninguna razón para semejante acusación.

Así pues, volviendo a la primera pregunta, ¿cómo responden los científicos a la percepción de una anomalía en el ajuste entre la teoría y la naturaleza? Lo que hemos dicho indica que incluso una discrepancia inconmensurablemente mayor que la experimentada en otras aplicaciones de la teoría no debe provocar necesariamente cualquier respuesta profunda. Hay siempre ciertas discrepancias. Incluso las más tenaces responden usualmente, al fin, a la práctica normal. Con mucha frecuencia, los científicos se sienten dispuestos a esperar, sobre todo si disponen de muchos otros problemas en otras partes del campo. Por ejemplo, ya hemos hecho notar que, durante los sesenta años posteriores al cálculo original de Newton, el movimiento anticipado del perigeo de la Luna continuaba siendo todavía la mitad del observado. Mientras los mejores físicos y matemáticos de Europa continuaron ocupándose sin éxito del problema, se hicieron proposiciones ocasionales para una modificación de la ley del inverso del cuadrado de Newton. Pero nadie tomó muy en serio esas proposiciones y, en la práctica, esa paciencia con una anomalía importante resultó justificada. En 1750, Clairaut logró demostrar que sólo las matemáticas usadas en la aplicación habían estado en un error y que la teoría de Newton podía continuar como antes.[8-3] Incluso en los casos en que no parece posible que se produzcan errores simples (quizá debido a que las operaciones matemáticas involucradas son o más sencillas o de un tipo familiar y con buenos resultados en todos los demás campos), una anomalía reconocida y persistente no siempre provoca una crisis. Nadie puso seriamente en duda la teoría de Newton a causa de las discrepancias,

reconocidas desde hacía mucho tiempo, entre las predicciones de esa teoría y las velocidades tanto del sonido como del movimiento de Mercurio. La primera discrepancia fue finalmente resuelta y de manera inesperada, por medio de experimentos sobre el calor, los que habían sido emprendidos con otro fin muy diferente; la segunda desapareció al surgir la teoría general de la relatividad, después de una crisis en cuya creación no había tomado parte.[8-4] Aparentemente, tampoco había parecido lo suficientemente importante como para provocar el malestar que acompaña a las crisis; pudieron reconocerse como ejemplos en contrario y, no obstante, ser relegados para un trabajo posterior.

De ello se desprende que para que una anomalía provoque crisis, debe ser algo más que una simple anomalía. Siempre se presentan dificultades en alguna parte en el ajuste del paradigma con la naturaleza; la mayoría de ellas se resuelven tarde o temprano, frecuentemente por medio de procesos que no podían preverse. Es raro que el científico que se detenga a examinar todas las anomalías que descubra pueda llevar a cabo algún trabajo importante. Debemos por consiguiente preguntarnos qué es lo que hace que una anomalía parezca merecer un examen de ajuste y para esta pregunta es probable que no exista una respuesta absolutamente general. Los casos que ya hemos examinado son característicos, pero raramente prescriptivos. A veces, una anomalía pondrá claramente en tela de juicio generalizaciones explícitas y fundamentales de un paradigma, como lo hizo el problema del arrastre del éter para quienes aceptaban la teoría de Maxwell. O como en la revolución de Copérnico, una anomalía sin aparente importancia fundamental, puede provocar crisis si las aplicaciones que inhibe tienen una importancia práctica particular, en este caso para el calendario y la astrología. O, como en la química del siglo XVIII, el desarrollo de la ciencia normal puede transformar una anomalía que, anteriormente, había sido sólo una molestia, en causa de crisis: el problema de las relaciones de pesos tuvo un *status* muy diferente después de la evolución de las técnicas químicas neumáticas. Probablemente, hay todavía otras circunstancias que pueden hacer que una anomalía resulte especialmente apremiante y, ordinariamente, se combinarán varias de ellas. Por ejemplo, ya hemos hecho notar que una de las causas de la crisis a que se enfrentó Copérnico fue la sola duración

del tiempo durante el que los astrónomos se esforzaron, sin obtener resultados, en reducir las discrepancias residuales del sistema de Ptolomeo.

Cuando por esas razones u otras similares, una anomalía llega a parecer algo más que otro enigma más de la ciencia normal, se inicia la transición a la crisis y a la ciencia fuera de lo ordinario. Entonces, la anomalía misma llega a ser reconocida de manera más general como tal en la profesión. Cada vez le presta mayor atención un número mayor de los hombres más eminentes del campo de que se trate. Si continúa oponiendo resistencia, lo cual no sucede habitualmente, muchos de ellos pueden llegar a considerar su resolución como *el* objetivo principal de su disciplina. Para ellos, el campo no parecerá ser ya lo que era antes. Parte de ese aspecto diferente es simplemente el resultado del nuevo punto de enfoque del examen científico. Una fuente todavía más importante de cambio es la naturaleza divergente de las numerosas soluciones parciales a que se llega por medio de la atención concertada que se presta al problema. Los primeros intentos de resolución del problema seguirán de cerca las reglas establecidas por el paradigma; pero, al continuar adelante sin poder vencer la resistencia, las tentativas de resolución involucrarán, cada vez más, alguna coyuntura menor o no tan ligera del paradigma, de modo tal que no existan dos de esas articulaciones completamente iguales, con un éxito parcial cada una de ellas ni con el suficiente éxito como para poder ser aceptadas como paradigmas por el grupo. A través de esta proliferación de coyunturas divergentes (de manera cada vez más frecuente llegarán a describirse como ajustes *ad hoc),* las reglas de la ciencia normal se hacen cada vez más confusas. Aun cuando existe todavía un paradigma, pocos de los que practican la ciencia en su campo están completamente de acuerdo con él. Incluso las soluciones de algunos problemas aceptadas con anterioridad se ponen en duda.

Cuando es aguda, esta situación es a veces reconocida por los científicos involucrados. Copérnico se quejaba de que, en su tiempo, fueran los astrónomos tan "inconsistentes en esas investigaciones (astronómicas)… que no pueden ni siquiera explicar u observar la longitud constante de las estaciones del año". "Con ellos", continuaba diciendo, "es como si un artista tuviera que tomar las manos, los pies, la cabeza y otros miembros de sus cuadros, de modelos diferentes, de tal modo que cada una de las partes

estuviera perfectamente dibujada; pero sin relación con un cuerpo único, y puesto que no coinciden unas con otras en forma alguna, el resultado sería un monstruo más que un hombre."[8-5] Einstein, limitado por el uso corriente a un lenguaje menos florido, escribió solamente: "Es como si le hubieran retirado a uno el terreno *que* pisaba, sin ver en ninguna parte un punto firme sobre el que fuera posible construir." [8-6] Y Wolfgang Pauli, en los meses anteriores al momento en que el documento de Heisenberg sobre la mecánica matricial señalara el camino hacia una nueva teoría cuántica, escribió a un amigo: "Por el momento, la física se encuentra otra vez terriblemente confusa. De cualquier modo, es demasiado difícil para mí y desearía haber sido actor de cine o algo parecido y no haber oído hablar nunca de la física". Este testimonio es particularmente impresionante, si se compara con las palabras del mismo Pauli, unos cinco meses más tarde: "El tipo de mecánica de Heisenberg me ha devuelto la esperanza y la alegría de vivir. Indudablemente, no proporciona la solución al problema; pero creo que nuevamente es posible seguir adelante."[8-7]

Los reconocimientos explícitos de un derrumbamiento, tales como éste, son extremadamente raros; pero los efectos de la crisis no dependen enteramente de su reconocimiento consciente. ¿Qué podemos decir que son esos efectos? Sólo dos de ellos parecen ser universales. Todas las crisis se inician con la confusión de un paradigma y el aflojamiento consiguiente de las reglas para la investigación normal. A este respecto, la investigación durante las crisis se parece mucho a la que tiene lugar en los periodos anteriores a los paradigmas, con excepción de que en el primer caso el lugar de la diferencia es, a la vez, más pequeño y mejor definido. Y todas las crisis concluyen con la aparición de un nuevo candidato a paradigma y con la lucha subsiguiente para su aceptación. Éstos son temas que deberán tomarse en consideración en secciones posteriores; pero debemos anticipar algo de lo que veremos, con el fin de completar estas observaciones sobre la evolución y la anatomía del estado de crisis.

La transición de un paradigma en crisis a otro nuevo del que pueda surgir una nueva tradición de ciencia normal, está lejos de ser un proceso de acumulación, al que se llegue por medio de una articulación o una ampliación del antiguo paradigma. Es más bien una reconstrucción del

campo, a partir de nuevos fundamentos, reconstrucción que cambia algunas de las generalizaciones teóricas más elementales del campo, así como también muchos de los métodos y aplicaciones del paradigma. Durante el periodo de transición habrá una gran coincidencia, aunque nunca completa, entre los problemas que pueden resolverse con ayuda de los dos paradigmas, el antiguo y el nuevo; pero habrá también una diferencia decisiva en los modos de resolución. Cuando la transición es completa, la profesión habrá modificado su visión del campo, sus métodos y sus metas. Un historiador perspicaz, al observar un caso clásico de reorientación de la ciencia mediante un cambio de paradigma, lo describió recientemente como "tomar el otro extremo del bastón", un proceso que involucra "manejar el mismo conjunto de datos anteriores, pero situándolos en un nuevo sistema de relaciones concomitantes al ubicarlos en un marco diferente".[8-8] Otros que han notado este aspecto del avance científico han subrayado su similitud con un cambio en la forma de visión: las marcas sobre el papel que se veían antes como un pájaro, se ven ahora como un antílope, o viceversa.[8-9] Este paralelo puede ser engañoso. Los científicos no ven algo *como* otra cosa diferente; en lugar de ello, se limitan a verlo. Ya hemos examinado algunos de los problemas creados por la pretensión de Priestley al considerar al oxígeno como aire deflogistizado. Además, el científico no preserva la libertad del sujeto para pasar repetidas veces de uno a otro modo de ver las cosas. Sin embargo, el cambio de forma, sobre todo debido a que es muy familiar en la actualidad, es un prototipo elemental útil para lo que tiene lugar en un cambio de paradigma a escala total.

Lo que acabamos de anticipar puede ayudarnos a reconocer a la crisis como un preludio apropiado al surgimiento de nuevas teorías, sobre todo debido a que ya hemos examinado una versión en pequeña escala del mismo proceso, al estudiar la aparición de los descubrimientos. Debido a que el nacimiento de una nueva teoría rompe con una tradición de práctica científica e introduce otra nueva que se lleva a cabo con reglas diferentes y dentro de un universo de razonamiento también diferente, esto sólo tiene probabilidades de suceder cuando se percibe que una primera tradición ha errado el camino de manera notable. Sin embargo, esta observación no es sino un preludio a la investigación del estado de crisis y, desgraciadamente,

las preguntas que plantea exigen la competencia de un psicólogo todavía más que la de un historiador. ¿Qué es una investigación fuera de lo extraordinario? ¿Cómo se hace que una anomalía se conforme a leyes? ¿Cómo proceden los científicos cuando sólo se dan cuenta de que algo va mal fundamentalmente, en un nivel para cuyo manejo la instrucción recibida no los ha preparado? Esas preguntas exigen una investigación mucho más profunda, que no siempre será histórica. Lo que sigue será, necesariamente, más hipotético y menos completo que lo que hemos visto con anterioridad.

Con frecuencia, surge un nuevo paradigma, al menos en embrión, antes de que una crisis haya avanzado mucho en su desarrollo o de que haya sido reconocida explícitamente. El trabajo de Lavoisier nos proporciona un ejemplo al respecto. Su nota sellada fue depositada en la Academia Francesa menos de un año después del estudio profundo de las relaciones de peso en la teoría del flogisto y antes de que las publicaciones de Priestley revelaran la amplitud total de la crisis que sufría la química neumática. Los primeros informes de Thomas Young sobre la teoría ondulatoria de la luz aparecieron en una etapa muy temprana de una crisis que se estaba desarrollando en la óptica y que casi no había sido notable, excepto en que, sin la ayuda de Young, se convirtió en un escándalo científico internacional en el plazo de una década a partir del momento en que aquél escribió sus primeros informes. En casos como ésos, solo podemos decir que un trastorno poco importante del paradigma y la primera confusión de sus reglas para la ciencia normal, fueron suficientes para sugerirle a alguien un nuevo método para observar su campo. Lo que tuvo lugar entre la primera sensación de trastorno y el reconocimiento de una alternativa disponible, debió ser en gran parte inconsciente.

Sin embargo, en otros casos —los de Copérnico, Einstein y la teoría nuclear contemporánea, por ejemplo—, transcurrió un periodo considerable entre la primera percepción del trastorno y el surgimiento de un nuevo paradigma. Cuando esto sucede, el historiador puede, al menos, lograr unas cuantas indicaciones de lo que es la ciencia fuera de lo ordinario. Frente a la admisión de una anomalía fundamental en la teoría, el primer esfuerzo de un científico será, frecuentemente, aislarla de manera más precisa y darle

una estructura. Aun cuando se dé cuenta de que ya no pueden ser absolutamente correctas, el científico aplicará las reglas de la ciencia normal con mayor fuerza que nunca, con el fin de ver, en la zona en que haya surgido la dificultad, dónde y hasta dónde pueden aplicarse. Al mismo tiempo, buscará maneras de realzar la importancia del trastorno, para hacerlo más notable y, quizá, también más sugestivo, de lo que fuera en experimentos en los que se creía conocer de antemano el resultado. Y en el último esfuerzo, más que en cualquier otra parte del desarrollo de una ciencia en el periodo posterior al paradigma, se asemejará mucho a la imagen que predomina del científico. Primeramente, parecerá a menudo un hombre que busca al azar, probando experimentos para ver qué sucede, buscando un efecto cuya naturaleza no puede prever. Simultáneamente, puesto que no puede concebirse ningún experimento sin algún tipo de teoría, el científico en crisis tratará constantemente de generar teorías especulativas que, si dan buenos resultados, puedan mostrar el camino hacia un nuevo paradigma y, si no tienen éxito, puedan desdeñarse con relativa facilidad.

El informe de Kepler sobre su lucha prolongada con el movimiento de Marte y la descripción de Priestley de su respuesta a la proliferación de nuevos gases, proporcionan ejemplos clásicos de un tipo más fortuito de investigación, producido por la percepción de la anomalía.[8-10] Pero probablemente las mejores ilustraciones proceden de la investigación contemporánea en la teoría del campo y en las partículas fundamentales. A falta de una crisis que hiciera necesario ver hasta dónde podían llegar las reglas de la ciencia normal, ¿habría parecido justificado el inmenso esfuerzo necesario para detectar el neutrino? O, si las reglas no hubieran fallado de manera evidente en algún punto no revelado, ¿habría sido sugerida o probada alguna vez la hipótesis radical de la no conservación de la paridad? Como muchas otras investigaciones de física durante la última década, esos experimentos fueron, en parte, intentos para localizar y definir la causa de un conjunto todavía disperso de anomalías.

Este tipo de investigación no-ordinaria a menudo —aunque no generalmente— es acompañado por otro. Creo que es, sobre todo, en los periodos de crisis reconocida, cuando los científicos se vuelven hacia el

análisis filosófico como instrumento para resolver los enigmas de su campo. Los científicos generalmente no han necesitado ni deseado ser filósofos. En realidad, la ciencia normal mantiene habitualmente apartada a la filosofía creadora y es probable que tenga buenas razones para ello. En la medida en que los trabajos de investigación normal pueden llevarse a cabo mediante el empleo del paradigma como modelo, no es preciso expresar de manera explícita las reglas y las suposiciones. En la Sección V hicimos notar que no es siquiera necesario que exista todo el conjunto de reglas buscado por medio del análisis filosófico; pero esto no quiere decir que la búsqueda de suposiciones (incluso de las no existentes) no pueda ser un modo efectivo para debilitar el dominio de una tradición sobre la mente y para sugerir las bases para otra nueva. No es un accidente que el surgimiento de la física newtoniana en el siglo XVII, y el de la relatividad y de la mecánica cuántica en el XX, hayan sido precedidos y acompañados por análisis filosóficos fundamentales de su tradición contemporánea de investigación.[8-11] Tampoco es un accidente que, en esos dos periodos, el llamado experimento mental haya desempeñado un papel tan importante en el progreso de las investigaciones. Como he mostrado en otros lugares, la experimentación mental analítica que ocupa tanto lugar en los escritos de Galileo, Einstein, Bohr y otros, está perfectamente calculada a efecto de exponer el paradigma antiguo a los conocimientos existentes de modos tales que aíslen la raíz de la crisis con una claridad inalcanzable en el laboratorio.[8-12]

Con el despliegue de esos procedimientos extraordinarios, uno por uno o todos juntos, puede suceder otra cosa. Al concentrarse la atención científica en una zona estrecha de trastorno y al prepararse la mentalidad científica para reconocer las anomalías experimentales, tal y como son, la crisis hace proliferar a menudo los descubrimientos. Ya hemos hecho notar cómo distinguen la percepción de la crisis, el trabajo de Lavoisier sobre el oxígeno del de Priestley; y el oxígeno no era el único gas nuevo que eran capaces de descubrir en el trabajo de Priestley los químicos que habían percibido la anomalía. O también, nuevos descubrimientos ópticos se acumularon rápidamente poco antes de la aparición de la nueva teoría ondulatoria de la luz y durante ésta. Algunos de esos descubrimientos, como la polarización por reflexión, fueron resultado de los accidentes que

hace probables el trabajo concentrado en una zona confusa (Malus, que hizo el descubrimiento, estaba apenas iniciando su trabajo para el premio de ensayo de la Academia sobre la doble refracción, tema del cual se sabía muy bien que estaba en un estado poco satisfactorio). Otros, como el punto luminoso en el centro de la sombra de un disco, fueron predicciones hechas a partir de la nueva hipótesis, que contribuyeron a que ésta se transformara en un paradigma para trabajos posteriores. Y todavía otros, como los colores en los rayados en el vidrio y en las placas gruesas, eran efectos que habían sido vistos antes con frecuencia y señalados en ocasiones, pero que, como el oxígeno de Priestley, habían sido asimilados a efectos bien conocidos, de modos que impedían que fueran considerados como lo que eran realmente.[8-13] Podría hacerse una enumeración semejante de los múltiples descubrimientos que, a partir de 1895, acompañaron constantemente a la aparición de la mecánica cuántica.

La investigación extraordinaria debe tener todavía otras manifestaciones y efectos, pero en este terreno apenas hemos comenzado a descubrir las preguntas a que es preciso responder. Sin embargo, es posible que a esta altura no se necesite más. Las observaciones anteriores deben ser suficientes para mostrar cómo las crisis debilitan los estereotipos y, simultáneamente, proporcionan los datos adicionales necesarios para un cambio de paradigma fundamental. A veces, la forma del nuevo paradigma se vislumbra en la estructura que le da a la anomalía la investigación no-ordinaria. Einstein escribió que, antes de que dispusiera de un sustituto para la mecánica clásica, podía ver la interrelación existente entre las anomalías conocidas de la radiación de un cuerpo negro, el efecto fotoeléctrico y los calores específicos.[8-14] Es más frecuente que no se vea conscientemente de antemano una estructura semejante. En cambio, el nuevo paradigma o un indicio suficiente para permitir una articulación posterior, surge repentinamente, a veces en medio de la noche, en la mente de un hombre sumergido profundamente en la crisis. Lo que es la naturaleza de esta etapa final —cómo inventa un individuo (o descubre que ha inventado) un modo nuevo de ordenar datos totalmente reunidos ya—, deberá permanecer inescrutable aquí y es posible que ese estado sea permanente. Sobre ese punto, señalemos aquí sólo una cosa. Casi siempre, los hombres que

realizan esos inventos fundamentales de un nuevo paradigma han sido muy jóvenes o muy noveles en el campo cuyo paradigma cambian.[8-15] Y quizá no fuera necesario expresar explícitamente este punto, ya que, evidentemente, se trata de hombres que, al no estar comprometidos con las reglas tradicionales de la ciencia normal debido a que tienen poca práctica anterior, tienen muchas probabilidades de ver que esas reglas no definen ya un juego que pueda continuar adelante y de concebir otro conjunto que pueda reemplazarlas.

La transición consiguiente a un nuevo paradigma es la revolución científica, tema al cual estamos finalmente listos para acercarnos directamente. Sin embargo, nótese primeramente un aspecto final y aparentemente esquivo, para el que ha preparado el camino el material de las últimas tres secciones. Hasta la Sección VI, donde presentamos por primera vez el concepto de anomalía, los términos de “revolución” y de “ciencia extraordinaria” pudieron parecer equivalentes. Lo que es más importante, ninguno de esos términos parecía significar otra cosa que “ciencia no normal”, circularidad que habrá resultado molesta para algunos lectores al menos. En la práctica, no era preciso que fuera así. Estamos a punto de descubrir que una circularidad semejante es característica de las teorías científicas. Sin embargo, molesta o no, esta circularidad no deja ya de estar calificada. En esta sección y en las dos anteriores del ensayo hemos enunciado numerosos criterios de una quiebra de la actividad científica normal, criterios que no dependen en absoluto de si a esa quiebra sigue o no una revolución. Al enfrentarse a anomalías o a crisis, los científicos adoptan una actitud diferente hacia los paradigmas existentes y en consecuencia, la naturaleza de su investigación cambia. La proliferación de articulaciones en competencia, la disposición para ensayarlo todo, la expresión del descontento explícito, el recurso a la filosofía y el debate sobre los fundamentos, son síntomas de una transición de la investigación normal a la no-ordinaria. La noción de la ciencia normal depende más de su existencia que de la de las revoluciones.

IX. Naturaleza y necesidad de las revoluciones científicas

ESTAS observaciones nos permiten finalmente considerar los problemas que dan título a este ensayo. ¿Qué son las revoluciones científicas y cuál es su función en el desarrollo científico? Gran parte de la respuesta a esas preguntas ha sido anticipada ya en secciones previas. En particular, la discusión anterior ha indicado que las revoluciones científicas se consideran aquí como aquellos episodios de desarrollo no acumulativo en que un antiguo paradigma es reemplazado, completamente o en parte, por otro nuevo e incompatible. Sin embargo, hay mucho más que decir al respecto y podemos presentar una parte de ello mediante una pregunta más. ¿Por qué debe llamarse revolución a un cambio de paradigma? Frente a las diferencias tan grandes y esenciales entre el desarrollo político y el científico, ¿qué paralelismo puede justificar la metáfora que encuentra revoluciones en ambos?

Uno de los aspectos del paralelismo debe ser ya evidente. Las revoluciones políticas se inician por medio de un sentimiento, cada vez mayor, restringido frecuentemente a una fracción de la comunidad política, de que las instituciones existentes han cesado de satisfacer adecuadamente los problemas planteados por el medio ambiente que han contribuido en parte a crear. De manera muy similar, las revoluciones científicas se inician con un sentimiento creciente, también a menudo restringido a una estrecha subdivisión de la comunidad científica, de que un paradigma existente ha dejado de funcionar adecuadamente en la exploración de un aspecto de la naturaleza, hacia el cual, el mismo paradigma había previamente mostrado el camino. Tanto en el desarrollo político como en el científico, el

sentimiento de mal funcionamiento que puede conducir a la crisis es un requisito previo para la revolución. Además, aunque ello claramente fuerza la metáfora, este paralelismo es no sólo válido para los principales cambios de paradigmas, como los atribuibles a Copérnico o a Lavoisier, sino también para los mucho más pequeños, asociados a la asimilación de un tipo nuevo de fenómeno, como el oxígeno o los rayos X. Las revoluciones científicas, como hicimos notar al final de la Sección V, sólo necesitan parecerles revolucionarias a aquellos cuyos paradigmas sean afectados por ellas. Para los observadores exteriores pueden parecer, como las revoluciones balcánicas de comienzos del siglo XX, partes normales del proceso de desarrollo. Los astrónomos, por ejemplo, podían aceptar los rayos X como una adición simple al conocimiento, debido a que sus paradigmas no fueron afectados por la existencia de la nueva radiación. Pero, para hombres como Kelvin, Crookes y Roentgen, cuyas investigaciones trataban de la teoría de la radiación o de los tubos de rayos catódicos, la aparición de los rayos X violó, necesariamente, un paradigma, creando otro. Es por eso por lo que dichos rayos pudieron ser descubiertos sólo debido a que había algo que no iba bien en la investigación normal.

Este aspecto genético del paralelo entre el desarrollo político y el científico no debería ya dejar lugar a dudas. Sin embargo, dicho paralelo tiene un segundo aspecto, más profundo, del que depende la importancia del primero. Las revoluciones políticas tienden a cambiar las instituciones políticas en modos que esas mismas instituciones prohíben. Por consiguiente, su éxito exige el abandono parcial de un conjunto de instituciones en favor de otro y, mientras tanto, la sociedad no es gobernada completamente por ninguna institución. Inicialmente, es la crisis sola la que atenúa el papel de las instituciones políticas, del mismo modo, como hemos visto ya, que atenúa el papel desempeñado por los paradigmas. En números crecientes, los individuos se alejan cada vez más de la vida política y se comportan de manera cada vez más excéntrica en su interior. Luego, al hacerse más profunda la crisis, muchos de esos individuos se comprometen con alguna proposición concreta para la reconstrucción de la sociedad en una nueva estructura institucional. En este punto, la sociedad se divide en campos o partidos enfrentados, uno de los cuales trata de defender el cuadro

de instituciones antiguas, mientras que los otros se esfuerzan en establecer otras nuevas. Y, una vez que ha tenido lugar esta polarización, *el recurso político fracasa*. Debido a que tienen diferencias con respecto a la matriz institucional dentro de la que debe tener lugar y evaluarse el cambio político, debido a que no reconocen ninguna estructura suprainstitucional para dirimir las diferencias revolucionarias, las partes de un conflicto revolucionario deben recurrir, finalmente, a las técnicas de persuasión de las masas, incluyendo frecuentemente el empleo de la fuerza. Aunque las revoluciones tienen una función vital en la evolución de las instituciones políticas, esa función depende de que sean sucesos parcialmente extrapolíticos o extrainstitucionales.

El resto de este ensayo está dedicado a demostrar que el estudio histórico del cambio de paradigma revela características muy similares en la evolución de las ciencias. Como la elección entre instituciones políticas que compiten entre sí, la elección entre paradigmas en competencia resulta una elección entre modos incompatibles de vida de la comunidad. Debido a que tiene ese carácter, la elección no está y no puede estar determinada sólo por los procedimientos de evaluación característicos de la ciencia normal, pues éstos dependen en parte de un paradigma particular, y dicho paradigma es discutido. Cuando los paradigmas entran, como deben, en un debate sobre la elección de un paradigma, su función es necesariamente circular. Para argüir en la defensa de ese paradigma cada grupo utiliza su propio paradigma.

Por supuesto, la circularidad resultante no hace que los argumentos sean erróneos, ni siquiera inefectivos. El hombre que establece como premisa un paradigma, mientras arguye en su defensa puede, no obstante, proporcionar una muestra clara de lo que será la práctica científica para quienes adopten la nueva visión de la naturaleza. Esa muestra puede ser inmensamente persuasiva y, con frecuencia, incluso apremiante. Sin embargo, sea cual fuere su fuerza, el *status* del argumento circular es sólo el de la persuasión. No puede hacerse apremiante, lógica ni probablemente, para quienes rehúsan entrar en el círculo. Las premisas y valores compartidos por las dos partes de un debate sobre paradigmas no son suficientemente amplios para ello. Como en las revoluciones políticas sucede en la elección de un

paradigma: no hay ninguna norma más elevada que la aceptación de la comunidad pertinente. Para descubrir cómo se llevan a cabo las revoluciones científicas, tendremos, por consiguiente, que examinar no sólo el efecto de la naturaleza y la lógica, sino también las técnicas de argumentación persuasiva, efectivas dentro de los grupos muy especiales que constituyen la comunidad de científicos.

Para descubrir por qué la cuestión de la elección de paradigma no puede resolverse nunca de manera inequívoca sólo mediante la lógica y la experimentación, debemos examinar brevemente la naturaleza de las diferencias que separan a los partidarios de un paradigma tradicional de sus sucesores revolucionarios. Este examen es el objeto principal de esta sección y de la siguiente. Sin embargo, hemos señalado ya numerosos ejemplos de tales diferencias, y nadie pondrá en duda que la historia puede proporcionar muchos otros. De lo que hay mayores probabilidades de poner en duda que de su existencia —y que, por consiguiente, deberá tomarse primeramente en consideración—, es de que tales ejemplos proporcionan información esencial sobre la naturaleza de la ciencia. Dando por sentado que el rechazo del paradigma ha sido un hecho histórico, ¿ilumina algo más que la credulidad y la confusión humanas? ¿Hay razones intrínsecas por las cuales la asimilación de un nuevo tipo de fenómeno o de una nueva teoría científica deba exigir el rechazo de un paradigma más antiguo?

Nótese, primeramente, que si existen esas razones, no se derivan de la estructura lógica del conocimiento científico. En principio, podría surgir un nuevo fenómeno sin reflejarse de manera destructiva sobre parte alguna de la práctica científica pasada. Aunque el descubrimiento de vida en la Luna destruiría paradigmas hoy existentes (que nos indican cosas sobre la Luna que parecen incompatibles con la existencia de vida en el satélite), el descubrimiento de vida en algún lugar menos conocido de la galaxia no lo haría. Por la misma razón, una teoría nueva no tiene por qué entrar en conflictos con cualquiera de sus predecesores. Puede tratar exclusivamente de fenómenos no conocidos previamente, como es el caso de la teoría cuántica que trata (de manera significativa, no exclusiva) de fenómenos subatómicos desconocidos antes del siglo XX. O también, la nueva teoría podría ser simplemente de un nivel más elevado que las conocidas hasta

ahora, agrupando todo un grupo de teorías de nivel más bajo sin modificar sustancialmente a ninguna de ellas. Hoy en día, la teoría de la conservación de la energía proporciona exactamente ese enlace entre la dinámica, la química, la electricidad, la óptica, la teoría térmica, etc. Pueden concebirse todavía otras relaciones compatibles entre las teorías antiguas y las nuevas. Todas y cada una de ellas podrían ilustrarse por medio del proceso histórico a través del que se ha desarrollado la ciencia. Si lo fueran, el desarrollo científico sería genuinamente acumulativo. Los nuevos tipos de fenómenos mostrarían sólo el orden en un aspecto de la naturaleza en donde no se hubiera observado antes. En la evolución de la ciencia, los conocimientos nuevos reemplazarían a la ignorancia, en lugar de reemplazar a otros conocimientos de tipo distinto e incompatible.

Por supuesto, la ciencia (o alguna otra empresa, quizá menos efectiva) podría haberse desarrollado en esa forma totalmente acumulativa. Mucha gente ha creído que eso es lo que ha sucedido y muchos parecen suponer todavía que la acumulación *es*, al menos, el ideal que mostraría el desarrollo histórico si no hubiera sido distorsionado tan a menudo por la idiosincrasia humana. Hay razones importantes para esta creencia. En la Sección X descubriremos lo estrechamente que se confunde la visión de la ciencia como acumulación con una epistemología predominante que considera que el conocimiento es una construcción hecha por la mente directamente sobre datos sensoriales no elaborados. Y en la Sección XI examinaremos el fuerte apoyo proporcionado al mismo esquema historiográfico por las técnicas de pedagogía efectiva de la ciencia. Sin embargo, a pesar de la enorme plausibilidad de esta imagen ideal, hay cada vez más razones para preguntarse si es posible que sea una imagen de la *ciencia*. Después del período anterior al paradigma, la asimilación de todas las nuevas teorías y de casi todos los tipos nuevos de fenómenos ha exigido, en realidad, la destrucción de un paradigma anterior y un conflicto consiguiente entre escuelas competitivas de pensamiento científico. La adquisición acumulativa de novedades no previstas resulta una excepción casi inexistente a la regla del desarrollo científico. El hombre que tome en serio los hechos históricos deberá sospechar que la ciencia no tiende al ideal que

ha forjado nuestra imagen de su acumulación. Quizá sea otro tipo de empresa.

Sin embargo, si los hechos que se oponen pueden llevarnos tan lejos, una segunda mirada al terreno que ya hemos recorrido puede sugerir que la adquisición acumulativa de novedades no sólo es en realidad rara, sino también en principio, improbable. La investigación normal que *es* acumulativa, debe su éxito a la habilidad de los científicos para seleccionar regularmente problemas que pueden resolverse con técnicas conceptuales e instrumentales vecinas a las ya existentes. (Por eso una preocupación excesiva por los problemas útiles sin tener en cuenta su relación con el conocimiento y las técnicas existentes, puede con tanta facilidad inhibir el desarrollo científico). Sin embargo, el hombre que se esfuerza en resolver un problema definido por los conocimientos y las técnicas existentes, no se limita a mirar en torno suyo. Sabe qué es lo que desea lograr y diseña sus instrumentos y dirige sus pensamientos en consecuencia. La novedad inesperada, el nuevo descubrimiento, pueden surgir sólo en la medida en que sus anticipaciones sobre la naturaleza y sus instrumentos resulten erróneos. Con frecuencia, la importancia del descubrimiento resultante será proporcional a la amplitud y a la tenacidad de la anomalía que lo provocó. Así pues, es evidente que debe haber un conflicto entre el paradigma que descubre una anomalía y el que, más tarde, hace que la anomalía resulte normal dentro de nuevas reglas. Los ejemplos de descubrimientos por medio de la destrucción de un paradigma que mencionamos en la Sección VI no nos enfrentan a un simple accidente histórico. No existe ningún otro modo efectivo en que pudieran generarse los descubrimientos.

El mismo argumento se aplica, de manera todavía más clara, a la invención de nuevas teorías. En principio, hay sólo tres tipos de fenómenos sobre los que puede desarrollarse una nueva teoría. El primero comprende los fenómenos que ya han sido bien explicados por los paradigmas existentes y que raramente proporcionan un motivo o un punto de partida para la construcción de una nueva teoría. Cuando lo hacen, como en el caso de las tres famosas predicciones que analizamos al final de la sección VII, las teorías resultantes son raramente aceptadas, ya que la naturaleza no proporciona terreno para la discriminación. Una segunda clase de

fenómenos comprende aquellos cuya naturaleza es indicada por paradigmas existentes, pero cuyos detalles sólo pueden comprenderse a través de una articulación ulterior de la teoría. Éstos son los fenómenos a los que dirigen sus investigaciones los científicos, la mayor parte del tiempo; pero estas investigaciones están encaminadas a la articulación de los paradigmas existentes más que a la creación de otros nuevos. Sólo cuando fallan esos esfuerzos de articulación encuentran los científicos el tercer tipo de fenómenos, las anomalías reconocidas cuyo rasgo característico es su negativa tenaz a ser asimiladas en los paradigmas existentes. Sólo este tipo produce nuevas teorías. Los paradigmas proporcionan a todos los fenómenos, excepto las anomalías, un lugar determinado por la teoría en el campo de visión de los científicos.

Pero si se adelantan nuevas teorías para resolver anomalías en la relación entre una teoría existente y la naturaleza, la nueva teoría que tenga éxito deberá permitir ciertas predicciones que sean diferentes de las derivadas de su predecesora. Esta diferencia podría no presentarse si las dos teorías fueran lógicamente compatibles. En el proceso de su asimilación, la segunda deberá desplazar a la primera. Incluso una teoría como la de la conservación de la energía, que hoy en día parece una superestructura lógica que se relaciona con la naturaleza sólo por medio de teorías independientemente establecidas, no se desarrolló históricamente sin destrucción de paradigma. En lugar de ello, surgió de una crisis en la que un elemento esencial fue la incompatibilidad entre la dinámica de Newton y ciertas consecuencias recientemente formuladas de la teoría calórica. Sólo después del rechazo de la teoría calórica podía la conservación de la energía llegar a ser parte de la ciencia.[9-1] Y sólo después de ser parte de la ciencia durante cierto tiempo, podía llegar o parecer una teoría de un tipo lógicamente más elevado, que no estuviera en conflicto con sus predecesoras. Es difícil ver cómo pueden surgir nuevas teorías sin esos cambios destructores en las creencias sobre la naturaleza. Aunque la inclusión lógica continúa siendo una visión admisible de la relación entre teorías científicas sucesivas, desde el punto de vista histórico no es plausible.

Creo que hace un siglo hubiera sido posible dejar en este punto el argumento en pro de la necesidad de las revoluciones. Pero, desgraciadamente, hoy en día no puede hacerse eso, debido a que la visión del tema antes desarrollado no puede mantenerse si se acepta la interpretación contemporánea predominante de la naturaleza y la función de la teoría científica. Esta interpretación, asociada estrechamente con el positivismo lógico inicial y que no ha sido rechazada categóricamente por sus sucesores, restringiría el alcance y el significado de una teoría aceptada, de tal modo que no pudiera entrar en conflicto con ninguna teoría posterior que hiciera predicciones sobre algunos de los mismos fenómenos naturales.

El argumento mejor conocido y más fuerte a favor de esta concepción restringida de una teoría científica surge en discusiones sobre la relación entre la dinámica contemporánea de Einstein y las ecuaciones dinámicas, más antiguas, que descienden de los *Principia* de Newton. Desde el punto de vista de este ensayo, esas dos teorías son fundamentalmente incompatibles en el sentido ilustrado por la relación de la astronomía de Copérnico con la de Tolomeo: sólo puede aceptarse la teoría de Einstein reconociendo que la de Newton estaba equivocada. En la actualidad, esta opinión continúa siendo minoritaria.[9-2] Por consiguiente, debemos examinar las objeciones más importantes que se le hacen.

La sustancia de esas objeciones puede desarrollarse como sigue. La dinámica relativista no puede haber demostrado que la de Newton fuera errónea, debido a que esta última es usada todavía, con muy buenos resultados, por la mayoría de los ingenieros y, en ciertas aplicaciones seleccionados, por muchos físicos. Además, lo apropiado del empleo de la teoría más antigua puede probarse a partir de la misma teoría moderna que, en otros aspectos, la ha reemplazado. Puede utilizarse la teoría de Einstein para demostrar que las predicciones de las ecuaciones de Newton serán tan buenas como nuestros instrumentos de medición en todas las aplicaciones que satisfagan un pequeño número de condiciones restrictivas. Por ejemplo, para que la teoría de Newton proporcione una buena solución aproximada, las velocidades relativas de los cuerpos estudiados deberán ser pequeñas en comparación con la velocidad de la luz. Sujeta a esta condición y a unas

cuantas más, la teoría de Newton parece ser deducible de la de Einstein, de la que, por consiguiente, es un caso especial.

Pero, añade la misma objeción, ninguna teoría puede entrar en conflicto con uno de sus casos especiales. Si la ciencia de Einstein parece confirmar que la dinámica newtoniana es errónea, ello se debe solamente a que algunos newtonianos fueron tan incautos como para pretender que la teoría de Newton daba resultados absolutamente precisos o que era válida a velocidades relativas muy elevadas. Puesto que no pudieron disponer de ninguna evidencia para confirmarlo, traicionaron las normas de la ciencia al hacerlo. Hasta donde la teoría de Newton ha sido una verdadera teoría científica apoyada en pruebas válidas, todavía lo es. Sólo las pretensiones extravagantes sobre la teoría —que nunca formaron realmente parte de la ciencia— pudieron, de acuerdo con la teoría de Einstein, mostrarse erróneas. Eliminando esas extravagancias puramente humanas, la teoría de Newton no ha sido puesta en duda nunca y no puede serlo.

Alguna variante de este argumento es ampliamente suficiente para hacer que cualquier teoría que haya sido empleada alguna vez por un grupo significativo de científicos competentes, sea inmune a los ataques. La tan calumniada teoría del flogisto, por ejemplo, explicaba gran número de fenómenos físicos y químicos. Explicaba por qué ardían los cuerpos —eran ricos en flogisto— y por qué los metales tenían más propiedades en común que sus minerales. Los metales estaban compuestos todos por diferentes tierras elementales combinadas con flogisto, y este último, común a todos los metales, producía propiedades comunes. Además, la teoría del flogisto explicaba numerosas reacciones en las que se formaban ácidos mediante la combustión de sustancias tales como el carbono y el azufre. Explicaba asimismo, la disminución de volumen cuando tiene lugar la combustión en un volumen confinado de aire —el flogisto liberado por la combustión "estropeaba" la elasticidad del aire que lo absorbía, del mismo modo como el fuego "estropea" la elasticidad de un resorte de acero—.[9-3] Si esos fenómenos hubieran sido los únicos que los teóricos del flogisto hubieran pretendido explicar mediante su teoría, no habría sido posible atacarla nunca. Un argumento similar sería suficiente para cualquier teoría que

alguna vez haya tenido éxito en su aplicación a cualquier conjunto de fenómenos.

Pero, para salvar en esta forma a las teorías, deberá limitarse su gama de aplicación a los fenómenos y a la precisión de observación de que tratan las pruebas experimentales que ya se tengan a mano.[9-4] Si se lleva un paso más adelante (y es difícil no dar ese paso una vez dado el primero), esa limitación prohíbe a los científicos la pretensión de hablar "científicamente" sobre fenómenos que todavía no han sido observados. Incluso en su forma actual, la restricción prohíbe al científico basarse en una teoría en sus propias investigaciones, siempre que dichas investigaciones entren a un terreno o traten de obtener un grado de precisión para los que la práctica anterior a la citada teoría no ofrezca precedentes. Lógicamente, esas prohibiciones no tienen excepciones; pero el resultado de aceptarlas sería el fin de la investigación por medio de la que la ciencia puede continuar desarrollándose.

A esta altura, este punto también es virtualmente una tautología. Sin la aceptación de un paradigma no habría ciencia normal. Además, esa aceptación debe extenderse a campos y a grados de precisión para los que no existe ningún precedente completo. De no ser así, el paradigma no podrá proporcionar enigmas que no hayan sido todavía resueltos. Además, no sólo la ciencia normal depende de la aceptación de un paradigma. Si las teorías existentes sólo ligan a los científicos con respecto a las aplicaciones existentes, no serán posibles las sorpresas, las anomalías o las crisis. Pero éstas son precisamente las señales que marcan el camino hacia la ciencia no-ordinaria. Si se toman literalmente las restricciones positivistas sobre la gama de aplicabilidad legítima de una teoría, el mecanismo que indica a la comunidad científica qué problemas pueden conducir a un cambio fundamental dejará de funcionar. Y cuando esto tenga lugar, la comunidad inevitablemente regresará a algo muy similar al estado anterior al paradigma, condición en la que todos los miembros practican la ciencia, pero en la cual sus productos en conjunto se parecen muy poco a la ciencia. ¿Es realmente sorprendente que el precio de un avance científico importante sea un compromiso que corre el riesgo de ser erróneo?

Lo que es más importante, hay en la argumentación de los positivistas, una reveladora laguna lógica, que vuelve inmediatamente a presentarnos la naturaleza del cambio revolucionario. ¿Puede realmente *derivarse* la dinámica de Newton de la dinámica relativista? ¿Cómo sería esa derivación? Imaginemos un conjunto de enunciados, E_1, E_2,…, E_n, que, en conjunto, abarcaran las leyes de la teoría de la relatividad. Estos enunciados contienen variables y parámetros que representan la posición espacial, el tiempo, la masa en reposo, etc. A partir de ellos, con ayuda del aparato de la lógica y la matemática, puede deducirse todo un conjunto de enunciados ulteriores, incluyendo algunos que pueden verificarse por medio de la observación. Para probar lo apropiado de la dinámica newtoniana como caso especial, debemos añadir a los E_i enunciados adicionales, como $(v/c)^2 << 1$, que restringen el alcance de los parámetros y las variables. Este conjunto incrementado de enunciados es manipulado, a continuación, para que produzca un nuevo conjunto, N_1, N_2,…, N_m que es idéntico, en la forma, a las leyes de Newton sobre el movimiento, la ley de gravedad, etc. Aparentemente, la dinámica de Newton se deriva de la de Einstein, sometida a unas cuantas condiciones que la limitan.

Sin embargo, la derivación es ilegítima, al menos hasta este punto. Aunque el conjunto N_i es un caso especial de las leyes de la mecánica relativista, no son las leyes de Newton. O, al menos, no lo son si dichas leyes no se reinterpretan de un modo que hubiera sido imposible hasta después de los trabajos de Einstein. Las variables y parámetros que en la serie einsteiniana E_i representaban la posición espacial, el tiempo, la masa, etc., se presentan todavía en N_i; y continúan representando allí espacio, tiempo y masa einsteinianos. Pero las referencias físicas de esos conceptos einsteinianos no son de ninguna manera idénticos a las de los conceptos newtonianos que llevan el mismo nombre. (La masa newtoniana se conserva; la einsteiniana es transformable por medio de la energía. Sólo a bajas velocidades relativas pueden medirse ambas del mismo modo e, incluso en ese caso, no deben ser consideradas idénticas). A menos que cambiemos las definiciones de las variables en N_i los enunciados derivados no serán newtonianos. Si las cambiamos, no podremos de manera apropiada

decir que hemos *derivado* las leyes de Newton, al menos no en cualquiera de los sentidos que se le reconocen actualmente al verbo “derivar”. Por supuesto, nuestra argumentación ha explicado por qué las leyes de Newton parecían ser aplicables. Al hacerlo así ha justificado, por ejemplo, a un automovilista que actúe como si viviera en un universo newtoniano. Una argumentación del mismo tipo se utiliza para justificar la enseñanza por los agrimensores de la astronomía centrada en la Tierra. Pero la argumentación no ha logrado todavía lo que se proponía. O sea, no ha demostrado que las leyes de Newton sean un caso limitado de las de Einstein, ya que al transponer el límite, no sólo han cambiado las formas de las leyes; simultáneamente, hemos tenido que modificar los elementos estructurales fundamentales de que se compone el Universo al cual se aplican.

Esta necesidad de cambiar el significado de conceptos establecidos y familiares, es crucial en el efecto revolucionario de la teoría de Einstein. Aunque más sutil que los cambios del geocentrismo al heliocentrismo, del flogisto al oxígeno o de los corpúsculos a las ondas, la transformación conceptual resultante no es menos decisivamente destructora de un paradigma previamente establecido. Incluso podemos llegar a considerarla como un prototipo para las reorientaciones revolucionarias en las ciencias. Precisamente porque no implica la introducción de objetos o conceptos adicionales, la transición de la mecánica de Newton a la de Einstein ilustra con una claridad particular la revolución científica como un desplazamiento de la red de conceptos a través de la que ven el mundo los científicos.

Estas observaciones deberían bastar para demostrar lo que, en otro clima filosófico, se hubiera dado por sentado. Al menos para los científicos, la mayoría de las diferencias aparentes entre una teoría científica descartada y su sucesora, son reales. Aun cuando una teoría anticuada pueda verse siempre como un caso especial de su sucesora más moderna, es preciso que sufra antes una transformación. Y la transformación sólo puede llevarse a cabo con las ventajas de la visión retrospectiva, la guía explícita de la teoría más reciente. Además, incluso en el caso de que esa transformación fuera un dispositivo legítimo que pudiera emplearse para interpretar la teoría más antigua, el resultado de su aplicación sería una teoría tan restringida que sólo podría reenunciar lo ya conocido. A causa de su economía, esa

reenunciación, podría resultar útil, pero no sería suficiente para guiar las investigaciones.

Por consiguiente, demos ahora por sentado que las diferencias entre paradigmas sucesivos son necesarias e irreconciliables. ¿Podremos decir, entonces, de manera más explícita cuáles son esos tipos de diferencias? El tipo más evidente ha sido ilustrado ya repetidamente. Los paradigmas sucesivos nos indican diferentes cosas sobre la población del Universo y sobre el comportamiento de esa población. O sea, presentan diferencias en problemas tales como la existencia de partículas subatómicas, la materialidad de la luz y la conservación del calor o de la energía. Éstas son las diferencias principales entre paradigmas sucesivos y no requieren una mayor ilustración. Pero los paradigmas se diferencian en algo más que la sustancia, ya que están dirigidos no sólo hacia la naturaleza, sino también hacia la ciencia que los produjo. Son la fuente de los métodos, problemas y normas de resolución aceptados por cualquier comunidad científica madura, en cualquier momento dado. Como resultado de ello, la recepción de un nuevo paradigma frecuentemente hace necesaria una redefinición de la ciencia correspondiente. Algunos problemas antiguos pueden relegarse a otra ciencia o ser declarados absolutamente “no científicos”. Otros que anteriormente eran triviales o no existían siquiera, pueden convertirse, con un nuevo paradigma, en los arquetipos mismos de la realización científica de importancia. Y al cambiar los problemas también lo hacen, a menudo, las normas que distinguen una solución científica real de una simple especulación metafísica, de un juego de palabras o de un juego matemático. La tradición científica normal que surge de una revolución científica es no sólo incompatible sino también a menudo realmente incomparable con la que existía con anterioridad.

El efecto del trabajo de Newton sobre la tradición normal de práctica científica del siglo XVII proporciona un ejemplo sorprendente de los efectos más sutiles del desplazamiento de paradigma. Antes de que naciera Newton, la “nueva ciencia” del siglo había logrado finalmente rechazar las explicaciones aristotélicas y escolásticas, que se expresaban en términos de las esencias de los cuerpos materiales. El decir que una piedra cae porque su “naturaleza” la impulsa hacia el centro del Universo se había convertido

en un simple juego tautológico de palabras, algo que no había sido antes. A partir de entonces, todo el conjunto de percepciones sensoriales, incluyendo el color, el gusto e incluso el peso, debían explicarse en términos del tamaño, la forma, la posición y el movimiento de los corpúsculos elementales de la materia base. La atribución de otras cualidades a los átomos elementales era recurrir a lo oculto y, por consiguiente, se encontraba fuera del alcance de la ciencia. Molière recogió ese nuevo espíritu con precisión, cuando ridiculizó al doctor que explicaba la eficacia del opio como soporífero atribuyéndole una potencia adormecedora. Durante la segunda mitad del siglo XVII, muchos científicos preferían decir que la forma redondeada de las partículas de opio les permitía suavizar los nervios en torno a los que se movían.[9-5]

Durante un periodo anterior, las explicaciones en términos de cualidades ocultas habían sido una parte integrante del trabajo científico fecundo. Sin embargo, en el siglo XVII, el nuevo compromiso con la explicación mecánico-corpuscular resultó inmensamente fructífero para una serie de ciencias, al eliminar los problemas que habían desafiado todas las soluciones generalmente aceptadas y sugerir otros nuevos para reemplazarlos. En la dinámica, por ejemplo, las tres leyes del movimiento de Newton son menos el producto de nuevos experimentos que el de un intento de volver a interpretar observaciones conocidas, en términos de movimientos y acciones recíprocas de los corpúsculos neutrales primarios. Examinemos sólo un ejemplo concreto. Puesto que los corpúsculos neutrales sólo podían actuar unos sobre otros por contacto, la visión mecánico-corpuscular de la naturaleza dirigió la atención científica hacia un tema absolutamente nuevo de estudio, la alteración del movimiento de las partículas por medio de colisiones. Descartes anunció el problema y proporcionó su primera solución supuesta. Huyghens, Wren y Wallis fueron todavía más allá, en parte mediante experimentos con discos de péndulos que entraban en colisión; pero, principalmente, mediante la aplicación de características previamente conocidas del movimiento al nuevo problema. Y Newton incluyó sus resultados en sus leyes del movimiento. La “acción” y “reacción” iguales de la tercera ley son los cambios en la cantidad de movimiento que experimentan las dos partes que entran en colisión. El

mismo cambio de movimiento proporciona la definición de la fuerza dinámica implícita en la segunda ley. En este caso, como en muchos otros durante el siglo XVII, el paradigma corpuscular engendró un nuevo problema y una parte importante de su solución.[9-6]

Sin embargo, aunque gran parte del trabajo de Newton iba dirigido a problemas e incluía normas derivadas de la visión mecánico-corpuscular del mundo, el efecto del paradigma que resultó de su trabajo fue un cambio ulterior y parcialmente destructor de los problemas y las normas legitimadas por la ciencia. La gravedad, interpretada como una atracción innata entre cualquier par de partículas de materia, era una cualidad oculta en el mismo sentido que lo había sido la "tendencia a caer" de los escolásticos. Por consiguiente, aunque continuaban siendo efectivas las normas del corpuscularismo, la búsqueda de una explicación mecánica de la gravedad fue uno de los problemas más difíciles para quienes aceptaban los *Principia* como paradigma. Newton le dedicó mucha atención, lo mismo que muchos de sus sucesores del siglo XVIII. La única opción aparente era la de rechazar la teoría de Newton debido a que no lograba explicar la gravedad, y también esta alternativa fue adoptada ampliamente. Sin embargo, en última instancia, ninguna de esas opiniones triunfó. Incapaces de practicar la ciencia sin los *Principia* o de hacer que ese trabajo se ajustara a las normas corpusculares del siglo XVII, los científicos aceptaron gradualmente la idea de que la gravedad, en realidad, era innata. Hacia mediados del siglo XVIII esa interpretación había sido casi universalmente aceptada y el resultado fue una reversión genuina (que no es lo mismo que retroceso) a una norma escolástica. Las atracciones y repulsiones innatas se unían al tamaño, a la forma, a la posición y al movimiento como propiedades primarias, físicamente irreductibles, de la materia.[9-7]

El cambio resultante en las normas y problemas de la ciencia física fue una vez más de consecuencias. Por ejemplo, hacia los años de la década de 1740, los electricistas podían hablar de la "virtud" atractiva del fluido eléctrico, sin incurrir en el ridículo que había acogido al doctor de Molière un siglo antes. Al hacerlo así, los fenómenos eléctricos exhibieron, cada vez más, un orden diferente del que habían mostrado cuando se consideraban como los efectos de un efluvio mecánico que sólo podía actuar por

contacto. En particular, cuando la acción eléctrica a distancia se convirtió por derecho propio en tema de estudio, pudo reconocerse como uno de sus efectos el fenómeno que ahora conocemos como carga por inducción. Previamente, cuando se observaba, se lo atribuía a la acción directa de “atmósferas” eléctricas o a las pérdidas inevitables en cualquier laboratorio eléctrico. La nueva visión de los efectos de inducción fue, a su vez, la clave para el análisis que hizo Franklin de la botella de Leyden y, en esa forma, para el surgimiento de un paradigma nuevo y newtoniano para la electricidad. La dinámica y la electricidad no fueron tampoco los únicos campos científicos afectados por la legitimación de la búsqueda de fuerzas innatas de la materia. El gran caudal de literatura del siglo XVIII sobre afinidades químicas y series de reemplazo, se deriva también de este aspecto supramecánico del newtonianismo. Los químicos que creían en esas atracciones diferenciales entre las diversas especies químicas, prepararon experimentos que no hubieran podido concebir antes y buscaron nuevos tipos de reacciones. Sin los datos y los conceptos químicos que se desarrollaron en el curso de este proceso, el trabajo posterior de Lavoisier y, de manera especial, el de Dalton, hubieran sido incomprensibles.[9-8] Los cambios en las normas que rigen los problemas, conceptos y explicaciones admisibles, pueden transformar una ciencia. En la sección siguiente sugeriré incluso un sentido en el que pueden transformar al mundo.

En la historia de cualquier ciencia, casi en cualquier periodo de su desarrollo, pueden encontrarse otros ejemplos de esas diferencias no sustantivas entre paradigmas sucesivos. Por el momento, contentémonos con otras dos ilustraciones, mucho más breves. Antes de la revolución química, una de las tareas reconocidas de la química era la de explicar las cualidades de las sustancias químicas y los cambios que sufrían esas cualidades durante las reacciones químicas. Con la ayuda de un número reducido de “principios” elementales —uno de los cuales era el flogisto—, el químico debía explicar por qué algunas sustancias son ácidas, otras básicas, combustibles, y así sucesivamente. En este sentido, se habían logrado ciertos éxitos. Ya hemos hecho notar que el flogisto explicaba por qué los metales eran tan similares y hubiéramos podido desarrollar una argumentación similar para los ácidos. Sin embargo, la reforma de

Lavoisier, eliminó finalmente los "principios" químicos y, de ese modo, le quito a la química algo del poder real de explicación y gran parte del potencial. Para compensar esa pérdida, era necesario un cambio en las normas. Durante gran parte del siglo XIX, el no lograr explicar las cualidades de los compuestos no era acusación contra una teoría química.[9-9]

También Clerk Maxwell compartía con otros proponentes del siglo XIX de la teoría ondulatoria de la luz, la convicción de que las ondas de luz debían propagarse a través de un éter material. El diseño de un medio mecánico para sostener a esas ondas fue un problema normal para muchos de sus más capaces contemporáneos. Sin embargo, su propia teoría electromagnética de la luz, no dio ninguna explicación sobre un medio capaz de soportar las ondas de luz y claramente hizo que dar tal explicación resultara mucho más difícil de lo que había parecido antes. Inicialmente, la teoría de Maxwell fue ampliamente rechazada por esas razones; pero, como la teoría de Newton, la de Maxwell resultó difícil de excluir y cuando alcanzó el *status* de paradigma, cambió la actitud de la comunidad hacia ella. Durante las primeras décadas del siglo XX, la insistencia de Maxwell en la existencia de un éter mecánico pareció ser cada vez más algo así como un mero reconocimiento verbal y se abandonaron los intentos para diseñar un medio etéreo de ese tipo. Los científicos no consideraron ya como no científico el hablar de un "desplazamiento" eléctrico, sin especificar qué estaba siendo desplazado. El resultado, nuevamente, fue un nuevo conjunto de problemas y normas que, en realidad, tuvo mucho que ver con la aparición de la teoría de la relatividad.[9-10]

Esos cambios característicos en la concepción de la comunidad científica sobre sus problemas y sus normas legítimos tendrían menos importancia para la tesis de este ensayo si fuera posible suponer que siempre tuvieron lugar de un tipo metodológico más bajo a otro más elevado. En este caso, asimismo, sus efectos parecerían ser acumulativos. No es extraño que algunos historiadores hayan argumentado que la historia de la ciencia registra un aumento continuo de la madurez y el refinamiento de la concepción del hombre sobre la naturaleza de la ciencia.[9-11] Sin embargo, el argumento en pro del desarrollo acumulativo de los problemas

y las normas de la ciencia es todavía más difícil de establecer que el de la acumulación de las teorías. El intento para explicar la gravedad, aunque abandonado convenientemente por la mayoría de los científicos del siglo XVIII, no iba dirigido a un problema intrínsecamente ilegítimo; las objeciones a las fuerzas innatas no eran inherentemente no científicas ni metafísicas en sentido peyorativo. No existen normas externas que permitan ese juicio. Lo que ocurrió no fue ni un trastorno ni una elevación de las normas, sino simplemente un cambio exigido por la adopción de un nuevo paradigma. Además, desde entonces, ese cambio fue invertido, y puede volver a serlo. En el siglo XX, Einstein logró explicar las atracciones gravitacionales y esta explicación hizo que la ciencia regresara a un conjunto de cánones y problemas, a este respecto, que se parece más a los de los predecesores de Newton que a los de sus sucesores. Asimismo, el desarrollo de la mecánica cuántica ha invertido la prohibición metodológica que tuvo su origen en la revolución química. Los químicos actualmente intentan, y con gran éxito, explicar el color, el estado de agregación y otras cualidades de las sustancias utilizadas y producidas en sus laboratorios. Es posible que esté teniendo lugar también una inversión similar en la teoría electromagnética. El espacio, en la física contemporánea, no es el sustrato inerte y homogéneo empleado tanto en la teoría de Newton como en la de Maxwell; algunas de sus nuevas propiedades no son muy diferentes de las atribuidas antiguamente al éter; es posible que lleguemos a saber, algún día, qué es un desplazamiento eléctrico.

Cambiando el acento de las funciones cognoscitivas a las normativas de los paradigmas, los ejemplos anteriores aumentan nuestra comprensión de los modos en que dan forma los paradigmas a la vida científica. Previamente, hemos examinado, sobre todo, el papel desempeñado por un paradigma como vehículo para la teoría científica. En este papel, su función es la de decir a los científicos qué entidades contiene y no contiene la naturaleza y cómo se comportan esas entidades. Esta información proporciona un mapa cuyos detalles son elucidados por medio de las investigaciones científicas avanzadas. Y puesto que la naturaleza es demasiado compleja y variada como para poder estudiarla al azar, este mapa es tan esencial como la observación y la experimentación para el

desarrollo continuo de la ciencia. A través de las teorías que engloban, los paradigmas resultan esenciales para las actividades de investigación. Sin embargo, son también esenciales para la ciencia en otros aspectos y esto es lo que nos interesa en este momento. En particular, nuestros ejemplos más recientes muestran que los paradigmas no sólo proporcionan a los científicos mapas sino también algunas de las indicaciones principales para el establecimiento de mapas. Al aprender un paradigma, el científico adquiere al mismo tiempo teoría, métodos y normas, casi siempre en una mezcla inseparable. Por consiguiente, cuando cambian los paradigmas, hay normalmente transformaciones importantes de los criterios que determinan la legitimidad tanto de los problemas como de las soluciones propuestas.

Esta observación nos hace regresar al punto en que se inició esta sección, pues nos proporciona nuestra primera indicación explícita de por qué la elección entre paradigmas en competencia plantea regularmente preguntas que no pueden ser contestadas por los criterios de la ciencia normal. Hasta el punto, tan importante como incompleto, en el que dos escuelas científicas que se encuentren en desacuerdo sobre qué es un problema y qué es una solución, inevitablemente tendrán que chocar al debatir los méritos relativos de sus respectivos paradigmas. En los argumentos parcialmente circulares que resultan regularmente, se demostrará que cada paradigma satisface más o menos los criterios que dicta para sí mismo y que sé queda atrás en algunos de los dictados por su oponente. Hay también otras razones para lo incompleto del contacto lógico que caracteriza siempre a los debates paradigmáticos. Por ejemplo, puesto que ningún paradigma resuelve todos los problemas que define y puesto que no hay dos paradigmas que dejen sin resolver los mismos problemas, los debates paradigmáticos involucran siempre la pregunta: ¿Qué problema es más significativo resolver? Como la cuestión de la competencia de normas, esta cuestión de valores sólo puede contestarse en términos de criterios que se encuentran absolutamente fuera de la ciencia normal y es ese recurso a criterios externos lo que de manera más obvia hace revolucionarios los debates paradigmáticos. Sin embargo, se encuentra también en juego algo más fundamental que las normas y los valores. Hasta ahora, sólo he argüido que los paradigmas son parte constitutiva de la ciencia. A continuación,

deseo mostrar un sentido en que son también parte constitutiva de la naturaleza.

X. Las revoluciones como cambios del concepto del mundo

EXAMINANDO el registro de la investigación pasada, desde la atalaya de la historiografía contemporánea, el historiador de la ciencia puede sentirse tentado a proclamar que cuando cambian los paradigmas, el mundo mismo cambia con ellos. Guiados por un nuevo paradigma, los científicos adoptan nuevos instrumentos y buscan en lugares nuevos. Lo que es todavía más importante, durante las revoluciones los científicos ven cosas nuevas y diferentes al mirar con instrumentos conocidos y en lugares en los que ya habían buscado antes. Es algo así como si la comunidad profesional fuera transportada repentinamente a otro planeta, donde los objetos familiares se ven bajo una luz diferente y, además, se les unen otros objetos desconocidos. Por supuesto, no sucede nada de eso: no hay transplantación geográfica; fuera del laboratorio, la vida cotidiana continúa como antes. Sin embargo, los cambios de paradigmas hacen que los científicos vean el mundo de investigación, que les es propio, de manera diferente. En la medida en que su único acceso para ese mundo se lleva a cabo a través de lo que ven y hacen, podemos desear decir que, después de una revolución, los científicos responden a un mundo diferente.

Las demostraciones conocidas de un cambio en la forma *(Gestalt)* visual resultan muy sugestivas como prototipos elementales para esas transformaciones del mundo científico. Lo que antes de la revolución eran patos en el mundo del científico, se convierte en conejos después. El hombre que veía antes el exterior de la caja desde arriba, ve ahora su interior desde abajo. Las transformaciones como ésas, aunque habitualmente más graduales y casi siempre irreversibles, son

acompañantes comunes de la preparación de los científicos. Al mirar el contorno de un mapa, el estudiante ve líneas sobre un papel, mientras que el cartógrafo ve una fotografía de un terreno. Al examinar una fotografía de cámara de burbujas, el estudiante ve líneas interrumpidas que se confunden, mientras que el físico un registro de sucesos subnucleares que le son familiares. Sólo después de cierto número de esas transformaciones de la visión, el estudiante se convierte en habitante del mundo de los científicos, ve lo que ven los científicos y responde en la misma forma que ellos. Sin embargo, el mundo al que entonces penetra el estudiante no queda fijo de una vez por todas, por una parte, por la naturaleza del medio ambiente y de la ciencia, por la otra. Más bien, es conjuntamente determinado por el medio ambiente y por la tradición particular de la ciencia normal que el estudiante se ha preparado a seguir. Por consiguiente, en tiempos de revolución, cuando la tradición científica normal cambia, la percepción que el científico tiene de su medio ambiente debe ser reeducada, en algunas situaciones en las que se ha familiarizado, debe aprender a ver una forma *(Gestalt)* nueva. Después de que lo haga, el mundo de sus investigaciones parecerá, en algunos aspectos, incomparable con el que habitaba antes. Ésa es otra de las razones por las que las escuelas guiadas por paradigmas diferentes se encuentran siempre, ligeramente, en pugna involuntaria.

Por supuesto, en su forma más usual, los experimentos de forma *(Gestalt)* ilustran sólo la naturaleza de las transformaciones perceptuales. No nos indican nada sobre el papel desempeñado por los paradigmas o el de las experiencias previamente asimiladas en el proceso de percepción. Pero sobre ese punto existe un caudal importante de literatura psicológica, gran parte de la cual procede de los trabajos pioneros del Hanover Institute. Un sujeto experimental que se pone anteojos ajustados con lentes inversos verá inicialmente todo el mundo cabeza abajo. Al principio este cuadro de percepción funciona como si hubiera sido preparado para que funcionara a falta de lentes y el resultado es una gran desorientación y una crisis personal aguda. Pero después de que el sujeto ha comenzado a aprender a conducirse en su nuevo mundo, todo su campo visual se transforma, habitualmente después de un periodo intermedio en el que la visión resulta simplemente confusa. Después, los objetos pueden nuevamente verse como antes de

utilizar los lentes. La asimilación de un campo de visión previamente anómalo ha reaccionado sobre el campo mismo, haciéndolo cambiar.[10-1] Tanto literal como metafóricamente, el hombre acostumbrado a los lentes inversos habrá sufrido una transformación revolucionaria de la visión.

Los sujetos del experimento de las cartas anómalas de la baraja, que vimos en la sección VI, sufrieron una transformación muy similar. Hasta que aprendieron, por medio de una prolongada exposición, que el Universo contenía cartas anómalas, vieron sólo los tipos de cartas para los que experiencias previas los habían preparado. Sin embargo, una vez que la experiencia les proporcionó las categorías complementarias necesarias, fueron capaces de ver todas las cartas anómalas durante una primera inspección suficientemente larga como para permitir cualquier identificación. Otros experimentos han demostrado que el tamaño, el color, etc., percibidos en objetos experimentalmente exhibidos, varían también de acuerdo con la preparación y el adiestramiento previos de los sujetos.[10-2] Al examinar la rica literatura experimental de que hemos extraído esos ejemplos, podemos llegar, a sospechar que es necesario algo similar a un paradigma como requisito previo para la percepción misma. Lo que ve un hombre depende tanto de lo que mira como de lo que su experiencia visual y conceptual previa lo ha preparado a ver. En ausencia de esa preparación sólo puede haber, en opinión de William James, “una confusión floreciente y zumbante” (“a bloomin’ buzzin’ confusion”).

En los últimos años, varios de los eruditos interesados en la historia de la ciencia han considerado los tipos de experimentos descritos antes como muy sugestivos. En particular, N. R. Hanson ha utilizado demostraciones de forma *(Gestalt)* para elaborar algunas de las mismas consecuencias de las creencias científicas que me ocupan en este ensayo.[10-3] Otros colegas han hecho notar repetidamente que la historia de la ciencia tendría un sentido más claro y coherente si se pudiera suponer que los científicos experimentan, a veces, cambios de percepción como los que acabamos de describir. Sin embargo, aun cuando los experimentos psicológicos son sugestivos, no pueden ser más que eso, dada la naturaleza del caso. Muestran características de percepción que *podrían* ser cruciales para el desarrollo científico; pero no demuestran que la observación cuidadosa y

controlada de los científicos investigadores comparta en absoluto esas características. Además, la naturaleza misma de esos experimentos hace que resulte imposible cualquier demostración directa de ese punto. Para que el ejemplo histórico pueda hacer que esos experimentos psicológicos parezcan ser importantes, deberemos anotar primeramente los tipos de pruebas que podemos esperar que nos proporcione la historia y los que no podremos encontrar en ella.

El sujeto de una demostración de forma *(Gestalt)* sabe que su percepción ha cambiado debido a que puede cambiarla en ambos sentidos repetidamente, mientras sostiene el mismo libro o la misma hoja de papel en la mano. Dándose cuenta de que no hay nada en su medio ambiente que haya cambiado, dirige cada vez más su atención no a la figura (pato o conejo) sino a las líneas del papel que está observando. Finalmente, puede aprender incluso a ver esas líneas, sin ver ninguna de las figuras y puede decir (lo que no hubiera podido decir legítimamente antes) que lo que ve realmente son esas líneas; pero que, alternativamente, las ve *como* un pato y *como* un conejo. Por el mismo motivo, el sujeto del experimento de cartas anómalas sabe (o, más exactamente, puede ser persuadido dé) que su percepción debe haber cambiado porque una autoridad externa, el experimentador, le asegura que, a pesar de lo que *haya visto*, estuvo *mirando* siempre un cinco de corazones negro. En esos dos casos, como en todos los experimentos psicológicos similares, la efectividad de la demostración depende de si se analiza de ese modo o no. A menos que exista un patrón externo con respecto al que pueda demostrarse un cambio de visión, no podrá sacarse ninguna conclusión sobre posibilidades alternativas de percepción.

Sin embargo, sin observación científica la situación es exactamente la inversa. El científico no puede tener ningún recurso por encima o más allá de lo que ve con sus ojos y sus instrumentos. Si hubiera alguna autoridad más elevada, recurriendo a la cual pudiera demostrarse que su visión había cambiado, esa autoridad se convertiría ella misma en la fuente de ese dato y el comportamiento de su visión podría convertirse en fuente de problemas (como lo es para el psicólogo la del sujeto experimental). Se presentarían los mismos tipos de problemas si el científico avanzara y retrocediera como

el sujeto de los experimentos de forma *(Gestalt)*. El periodo durante el que la luz era “a veces una onda y a veces una partícula” fue un periodo de crisis —un periodo en que algo iba mal— y concluyó sólo con el desarrollo de la mecánica ondulatoria y la comprensión de que la luz era una entidad consistente en sí misma y diferente tanto de las ondas como de las partículas. Por consiguiente, en las ciencias, si los cambios perceptuales acompañan a los de paradigma, no podremos esperar que los científicos atestigüen directamente sobre esos cambios. Al mirar a la Luna, el convertido a la teoría de Copérnico no dice: “Antes veía un planeta; pero ahora veo un satélite”. Esta frase implicaría un sentido en el que el sistema de Tolomeo hubiera sido correcto alguna vez. En cambio, alguien que se haya convertido a la nueva astronomía dice: “Antes creía que la Luna era un planeta (o la veía como tal); pero estaba equivocado”. Este tipo de enunciado vuelve a presentarse en el periodo inmediatamente posterior a las revoluciones científicas. Si oculta ordinariamente un cambio de visión científica o alguna otra transformación mental que tenga el mismo efecto, no podremos esperar un testimonio directo sobre ese cambio. Más bien, deberemos buscar evidencia indirecta y de comportamiento de que el científico que dispone de un nuevo paradigma ve de manera diferente a como lo hacía antes.

Regresemos ahora a los datos y preguntémonos qué tipos de transformaciones del mundo científico puede descubrir el historiador que crea en esos cambios. El descubrimiento de Urano por Sir William Herschel proporciona un primer ejemplo que es muy similar al experimento de las cartas anómalas. Al menos en diecisiete ocasiones diferentes, entre 1690 y 1781, una serie de astrónomos, incluyendo a varios de los observadores más eminentes de Europa, vieron una estrella en posiciones que suponemos actualmente que debía ocupar entonces Urano. Uno de los mejores observadores de dicho grupo vio realmente la estrella durante cuatro noches sucesivas, en 1769, sin notar el movimiento que podía haber sugerido otra identificación. Herschel, cuando observó por primera vez el mismo objeto, doce años más tarde, lo hizo con un telescopio perfeccionado, de su propia fabricación. Como resultado de ello, pudo notar un tamaño aparente del disco que era, cuando menos, muy poco usual para las estrellas. Había en

ello algo raro y, por consiguiente, aplazó la identificación hasta llevar a cabo un examen más detenido. Ese examen mostró el movimiento de Urano entre las estrellas y, como consecuencia, Herschel anunció que había visto un nuevo corneta. Sólo al cabo de varios meses, después de varias tentativas infructuosas para ajustar el movimiento observado a una órbita de cometa, Lexell sugirió que la órbita era probablemente planetaria.[10-4] Cuando se aceptó esa sugestión, hubo varias estrellas menos y un planeta más en el mundo de los astrónomos profesionales. Un cuerpo celeste que había sido observado varias veces, durante casi un siglo, era visto diferentemente a partir de 1781 debido a que, como una de las cartas anómalas, no podía ajustarse ya a las categorías perceptuales (estrella o cometa) proporcionadas por el paradigma que había prevalecido antes.

El cambio de visión que permitió a los astrónomos ver a Urano como planeta no parece, no obstante, haber afectado sólo la percepción de ese objeto previamente observado. Sus consecuencias fueron mucho más lejos. Probablemente, aunque las pruebas son engañosas, el cambio menor de paradigma que produjo Herschel contribuyó a preparar a los astrónomos para el des cubrimiento rápido, después de 1801, de numerosos planetas menores o asteroides. A causa de su tamaño pequeño, los asteroides no mostraban el aumento anómalo que había alertado a Herschel. Sin embargo, los astrónomos preparados para ver planetas adicionales fueron capaces, con instrumentos ordinarios, de identificar veinte de ellos durante los primeros cincuenta años del siglo XIX.[10-5] La historia de la astronomía proporciona muchos otros ejemplos de cambios inducidos por los paradigmas en la percepción científica, algunos de ellos incluso menos equívocos. Por ejemplo, ¿es concebible que fuera un accidente el que los astrónomos occidentales vieran por primera vez cambios en el firmamento, que antes había sido considerado como inmutable, durante el medio siglo que siguió a la primera proposición del paradigma de Copérnico? Los chinos, cuyas creencias cosmológicas no excluían el cambio celeste, habían registrado en fecha muy anterior la aparición de muchas estrellas nuevas en el firmamento. Asimismo, incluso sin ayuda de telescopios, los chinos habían registrado sistemáticamente la aparición de manchas solares, siglos antes de que fueran observadas por Galileo y sus contemporáneos.[10-6]

Tampoco fueron las manchas solares y una nueva estrella los únicos ejemplos de cambios celestes que surgieron en el firmamento de los astrónomos occidentales, inmediatamente después de Copérnico. Utilizando instrumentos tradicionales, algunos tan simples como un pedazo de hilo, los astrónomos de fines del siglo XVI descubrieron repetidamente que los cometas se desplazan libremente por el espacio reservado previamente a los planetas y a las estrellas fijas.[10-7] La facilidad y la rapidez mismas con que los astrónomos vieron cosas nuevas al observar objetos antiguos con instrumentos antiguos puede hacernos desear decir que, después de Copérnico, los astrónomos vivieron en un mundo diferente. En todo caso, sus investigaciones dieron resultados como si ése fuera el caso. Seleccionamos los ejemplos anteriores de la astronomía, debido a que los informes sobre las observaciones celestes se hacen, frecuentemente, en un vocabulario que consiste relativamente en términos puramente observacionales. Sólo en esos informes podemos esperar hallar algo semejante a un paralelismo pleno entre las observaciones de los científicos y las de los sujetos experimentales de los psicólogos. Pero no es necesario insistir en un paralelismo tan completo y podremos obtener mucho si flexibilizamos nuestro patrón. Si nos contentamos con el uso cotidiano del verbo ‘ver’, podremos rápidamente reconocer que ya hemos encontrado muchos otros ejemplos de los cambios en la percepción científica que acompañan al cambio de paradigma. El uso extendido de ‘percepción’ y de ‘ver’ requerirá pronto una defensa explícita; pero, primeramente, ilustraré su aplicación en la práctica.

Volvamos a ver, durante un momento, dos de nuestros ejemplos anteriores, sacados de la historia de la electricidad. Durante el siglo XVII, cuando sus investigaciones eran guiadas por alguna de las teorías de los efluvios, los electricistas vieron repetidamente limaduras o granzas que rebotaban o caían de los cuerpos eléctricos que las habían atraído. Al menos, eso es lo que los observadores del siglo XVII decían que veían y no tenemos más motivos para poner en duda sus informes de percepción que los nuestros. Colocados ante los mismos aparatos, los observadores modernos verían una repulsión electrostática (más que un rebote mecánico o gravitacional), pero históricamente, con una excepción pasada por alto

universalmente, la repulsión electrostática no fue vista como tal hasta que el aparato en gran escala de Hauksbee aumentó mucho sus efectos. Sin embargo, la repulsión, después de la electrificación de contacto, fue sólo uno de los muchos efectos de repulsión que vio Hauksbee. A través de sus investigaciones, la repulsión repentinamente se convirtió, más bien, como en un cambio de forma *(Gestalt)*, en *la* manifestación fundamental de la electrificación y, entonces, fue preciso explicar la atracción.[10-8] Los fenómenos eléctricos visibles a comienzos del siglo XVIII fueron más sutiles y variados que los vistos por los observadores del siglo XVII. O también, después de la asimilación del paradigma de Franklin, el electricista que miraba una botella de Leyden vio algo diferente de lo que había visto antes. El instrumento se había convertido en un condensador, que no necesitaba ni la forma de botella ni ser de cristal. En lugar de ello, los dos recubrimientos conductores —uno de los cuales no había formado parte del instrumento original— se hicieron prominentes. Como atestiguan tanto las exposiciones escritas como las representaciones pictóricas, de manera gradual dos placas metálicas, con un cuerpo no conductor entre ellas, se había convertido en el prototipo de la clase.[10-9] Simultáneamente, otros efectos de inducción recibieron nuevas descripciones y otros más fueron notados por primera vez.

Los cambios de este tipo no son exclusivos de la astronomía y la electricidad. Ya hemos hecho notar algunas de las transformaciones similares de la visión que pueden sacarse de la historia de la química. Como dijimos, Lavoisier vio oxígeno donde Priestley había visto aire deflogistizado y donde otros no habían visto nada en absoluto. Sin embargo, al aprender a ver oxígeno, Lavoisier tuvo que modificar también su visión de otras muchas substancias más conocidas. Por ejemplo, vio un mineral compuesto donde Priestley y sus contemporáneos habían visto una tierra elemental y había, además, otros varios cambios. Cuando menos, como resultado de su descubrimiento del oxígeno, Lavoisier vio a la naturaleza de manera diferente. Y a falta de algún recurso a esa naturaleza fija e hipotética que “veía diferentemente”, el principio de economía nos exigirá decir que, después de descubrir el oxígeno, Lavoisier trabajó en un mundo diferente.

Me preguntaré en breve si existe la posibilidad de evitar esa extraña frase; pero, antes, necesitamos un ejemplo más de su uso, derivado de una de las partes mejor conocidas del trabajo de Galileo. Desde la Antigüedad más remota, la mayoría de las personas han visto algún objeto pesado balanceándose al extremo de una cuerda o cadena, hasta que finalmente queda en reposo. Para los aristotélicos, que creían que un cuerpo pesado se desplazaba por su propia naturaleza de una posición superior a una más baja hasta llegar a un estado de reposo natural, el cuerpo que se balanceaba simplemente estaba cayendo con dificultad. Sujeto a la cadena, sólo podía quedar en reposo en su posición más baja, después de un movimiento tortuoso y de un tiempo considerable. Galileo, por otra parte, al observar el cuerpo que se balanceaba, vio un péndulo, un cuerpo que casi lograba repetir el mismo movimiento, una y otra vez, hasta el infinito. Y después de ver esto, Galileo observó también otras propiedades del péndulo y construyó muchas de las partes más importantes y originales de su nueva dinámica, de acuerdo con esas propiedades. Por ejemplo, de las propiedades del péndulo, Galileo dedujo sus únicos argumentos completos y exactos para la independencia del peso y del índice de caída, así como también para la relación entre el peso vertical y la velocidad final de los movimientos descendentes sobre un plano inclinado.[10-10] Todos esos fenómenos naturales los vio diferentemente de como habían sido vistos antes.

¿Por qué tuvo lugar ese cambio de visión? Por supuesto, gracias al genio individual de Galileo. Pero nótese que el genio no se manifiesta en este caso como observación más exacta u objetiva del cuerpo oscilante. De manera descriptiva, la percepción aristotélica tiene la misma exactitud. Cuando Galileo informó que el periodo del péndulo era independiente de la amplitud, para amplitudes de hasta 90°, su imagen del péndulo lo llevó a ver en él una regularidad mucho mayor que la que podemos descubrir en la actualidad en dicho péndulo.[10-11] Más bien, lo que parece haber estado involucrado es la explotación por el genio de las posibilidades perceptuales disponibles, debido a un cambio del paradigma medieval. Galileo no había recibido una instrucción totalmente aristotélica. Por el contrario, había sido preparado para analizar los movimientos, de acuerdo con la teoría del ímpetu, un paradigma del final de la Edad Media, que sostenía que el

movimiento continuo de un cuerpo pesado se debía a un poder interno, implantado en él por el impulsor que inició su movimiento. Jean Buridan y Nicole Oresme, los escolásticos del siglo XIV que llevaron la teoría del ímpetu a sus formulaciones más perfectas, son los primeros hombres de quienes se sabe que vieron en los movimientos de oscilación una parte de lo que vio en ellos Galileo. Buridan describe el movimiento de una cuerda que vibra como aquel en el que el ímpetu es implantado primeramente cuando se golpea la cuerda; ese ímpetu se consume al desplazarse la cuerda en contra de la resistencia ofrecida por su tensión; a continuación, la tensión lleva a la cuerda hacia atrás, implantando un ímpetu creciente hasta alcanzar el punto medio del movimiento; después de ello, el ímpetu desplaza a la cuerda en sentido contrario, otra vez contra la tensión de la cuerda, y así sucesivamente en un proceso simétrico que puede continuar indefinidamente. Más avanzado el siglo, Oresme bosquejó un análisis similar de la piedra que se balancea, en lo que ahora, aparece como la primera discusión sobre un péndulo.[10-12] De manera clara, su opinión se encuentra muy cerca de la que tuvo Galileo cuando abordó por primera vez el estudio del péndulo. Al menos, en el caso de Oresme y casi seguro que también en el de Galileo, fue una visión hecha posible por la transición del paradigma aristotélico original al paradigma escolástico del ímpetu para el movimiento. Hasta que se inventó ese paradigma escolástico no hubo péndulo, sino solamente piedras oscilantes, para que pudiera verlas el científico. Los péndulos comenzaron a existir gracias a algo muy similar al cambio de forma *(Gestalt)* provocado por un paradigma.

Sin embargo, ¿necesitamos realmente describir lo que separa a Galileo de Aristóteles o a Lavoisier de Priestley como una transformación de la visión? ¿*Vieron* realmente esos hombres cosas diferentes al *mirar* los mismos tipos de objetos? ¿Hay algún sentido legítimo en el que podamos decir que realizaban sus investigaciones en mundos diferentes? No es posible continuar aplazando estas preguntas, ya que existe otro modo evidente y mucho más habitual de describir todos los ejemplos históricos delineados antes. Muchos lectores desearán decir, seguramente, que lo que cambia con un paradigma es sólo la interpretación que hacen los científicos de las observaciones, que son fijadas, una vez por todas, por la naturaleza

del medio ambiente y del aparato perceptual. Según esta opinión, Lavoisier y Priestley vieron ambos el oxígeno, pero interpretaron sus observaciones de manera diferente; Aristóteles y Galileo vieron ambos el péndulo, pero difirieron en sus interpretaciones de lo que ambos habían visto. Ante todo diré que esta opinión muy habitual sobre lo que sucede cuando los científicos cambian de manera de pensar sobre cuestiones fundamentales, no puede ser ni completamente errónea ni una simple equivocación. Más bien es una parte esencial de un paradigma filosófico iniciado por Descartes y desarrollado al mismo tiempo que la dinámica de Newton. Ese paradigma ha rendido buenos servicios tanto a la ciencia como a la filosofía. Su explotación, como la de la dinámica misma, ha dado como fruto una comprensión fundamental que quizá no hubiera podido lograrse en otra forma. Pero, como indica también el ejemplo de la dinámica de Newton, ni siquiera los éxitos pretéritos más sorprendentes pueden garantizar que sea posible aplazar indefinidamente una crisis. Las investigaciones actuales en partes de la filosofía, la psicología, la lingüística, e incluso la historia del arte, se unen para sugerir que el paradigma tradicional se encuentra en cierto modo, desviado. Este fracaso en el ajuste aparece también cada vez con mayor claridad en el curso del estudio histórico de la ciencia, hacia el cual habremos de orientar necesariamente la mayor parte de nuestra atención.

Ninguno de esos temas productores de crisis ha creado todavía una alternativa viable para el paradigma epistemológico tradicional; pero comienzan a insinuar lo que serán algunas de las características de ese paradigma. Por ejemplo, me doy cuenta perfectamente de la dificultad creada al decir que, cuando Aristóteles y Galileo miraron a piedras oscilantes, el primero vio una caída forzada y el segundo un péndulo. Las mismas dificultades presentan, en forma todavía más fundamental, las frases iniciales de esta sección: aunque el mundo no cambia con un cambio de paradigma, el científico después trabaja en un mundo diferente. No obstante, estoy convencido de que debemos aprender a interpretar el sentido de enunciados que, por lo menos, se parezcan a ésos. Lo que sucede durante una revolución científica no puede reducirse completamente a una reinterpretación de datos individuales y estables. En primer lugar, los datos

no son inequívocamente estables. Un péndulo no es una piedra que cae, ni el oxígeno es aire deflogistizado. Por consiguiente, los datos que reúnen los científicos de esos objetos diversos son, como veremos muy pronto, ellos mismos diferentes. Lo que es más importante, el proceso por medio del cual el individuo o la comunidad lleva a cabo la transición de la caída forzada al péndulo o del aire deflogistizado al oxígeno no se parece a una interpretación. ¿Cómo podría serlo, a falta de datos fijos que pudieran interpretar los científicos? En lugar de ser un intérprete, el científico que acepta un nuevo paradigma es como el hombre que lleva lentes inversores. Frente a la misma constelación de objetos que antes, y sabiendo que se encuentra ante ellos, los encuentra, no obstante, transformados totalmente en muchos de sus detalles.

Ninguno de estos comentarios pretende indicar que los científicos no interpretan característicamente las observaciones y los datos. Por el contrario, Galileo interpretó las observaciones del péndulo y Aristóteles las de las piedras en caída, Musschenbroek las observaciones de una botella llena de carga eléctrica y Franklin las de un condensador. Pero cada una de esas interpretaciones presuponía un paradigma. Eran partes de la ciencia normal, una empresa que, como ya hemos visto, tiene como fin el refinar, ampliar y articular un paradigma que ya existe. En la sección III presentamos muchos ejemplos en los que la interpretación desempeñaba un papel esencial. Esos ejemplos eran típicos en la mayoría abrumadora de las investigaciones. En cada uno de ellos, en virtud de un paradigma aceptado, el científico sabía qué era un dato, qué instrumentos podían utilizarse para ubicarlo y qué conceptos eran importantes para su interpretación. Dado un paradigma, la interpretación de datos es crucial para la empresa de explorarlo.

Pero esta empresa de interpretación —y ese fue el tema del antepenúltimo párrafo— sólo puede articular un paradigma, no corregirlo. Los paradigmas no pueden ser corregidos por la ciencia normal. En cambio, como ya hemos visto, la ciencia normal conduce sólo, en último análisis, al reconocimiento de anomalías y a crisis. Y éstas se terminan, no mediante deliberación o interpretación, sino por un suceso relativamente repentino y no estructurado, como el cambio de forma *(Gestalt)*. Entonces, los

científicos hablan con frecuencia de las "vendas que se les caen de los ojos" o de la "iluminación repentina" que "inunda" un enigma previamente oscuro, permitiendo que sus componentes se vean de una manera nueva que permite por primera vez su resolución. En otras ocasiones, la iluminación pertinente se presenta durante el sueño.[10-13] Ningún sentido ordinario del término "interpretación" se ajusta a esos chispazos de la Intuición por medio de los que nace un nuevo paradigma. Aunque esas intuiciones dependen de la experiencia, tanto anómala como congruente, obtenida con el antiguo paradigma, no se encadenan lógica ni gradualmente a conceptos particulares de esa experiencia como sucedería si se tratara de interpretaciones. En lugar de ello, reúnen grandes porciones de esa experiencia y las transforman para incluirlas en el caudal muy diferente de experiencia que será más tarde, de manera gradual, insertado al nuevo paradigma, y no al antiguo.

Para aprender algo más sobre cuáles pueden ser esas diferencias de experiencia, volvamos por un momento a Aristóteles, Galileo y el péndulo. ¿Qué datos pusieron a su alcance la interacción de sus diferentes paradigmas y su medio ambiente común? Al ver la caída forzada, el aristotélico mediría (o al menos discutiría; el aristotélico raramente medía) el peso de la piedra, la altura vertical a que había sido elevada y el tiempo requerido para que quedara en reposo. Junto con la resistencia del medio, ésas fueron las categorías conceptuales tomadas en consideración por la ciencia aristotélica para tratar la caída de un cuerpo.[10-14] La investigación normal guiada por ellas no hubiera podido producir las leyes que descubrió Galileo. Sólo podía —y lo hizo por otro camino— conducir a la serie de crisis de la que surgió la visión de Galileo de la piedra oscilante. Como resultado de estas crisis y de otros cambios intelectuales, Galileo vio la piedra que se balanceaba de manera totalmente diferente. El trabajo de Arquímedes sobre los cuerpos flotantes hizo que el medio no fuera esencial; la teoría del ímpetu hacía que el movimiento fuera simétrico y duradero; y el neoplatonismo dirigió la atención de Galileo hacia la forma circular del movimiento.[10-15] Por consiguiente, midió sólo el peso, el radio, el desplazamiento angular y el tiempo por oscilación, que eran precisamente los datos que podían interpretarse de tal modo que produjeran las leyes de

Galileo para el péndulo. En realidad, la interpretación resultó casi innecesaria. Con los paradigmas de Galileo, las regularidades similares a las del péndulo eran casi accesibles a la inspección. De otro modo, ¿cómo podríamos explicar el descubrimiento hecho por Galileo de que el periodo de oscilación es enteramente independiente de la amplitud, un descubrimiento que la ciencia normal sucesora de Galileo tuvo que erradicar y que nos vemos imposibilitados de probar teóricamente en la actualidad? Las regularidades que para un aristotélico no hubieran podido existir (y que, en efecto, no se encuentran ejemplificadas precisamente en ninguna parte de la naturaleza), fueron para el hombre que vio la piedra oscilante como la vio Galileo, consecuencias de la experiencia inmediata.

Quizá sea demasiado imaginario el ejemplo, ya que los aristotélicos no registran ninguna discusión sobre las piedras oscilantes. De acuerdo con su paradigma, éste era un fenómeno extraordinariamente complejo. Pero los aristotélicos discutieron el caso más simple, el de las piedras que caían sin impedimentos no comunes, y en ese caso pueden observarse claramente las mismas diferencias de visión. Al observar la caída de una piedra, Aristóteles vio un cambio de estado más que un proceso. Para él, por consiguiente, las medidas pertinentes de un movimiento eran la distancia total recorrida y el tiempo total transcurrido, parámetros que producen lo que actualmente no llamaríamos velocidad sino velocidad media.[10-16] De manera similar, debido a que la piedra era impulsada por su naturaleza para que alcanzara su punto final de reposo, Aristóteles vio como parámetro importante de la distancia en cualquier instante durante el movimiento, la distancia *al* punto final, más que la *del* punto de origen.[10-17] Esos parámetros conceptuales sirven de base y dan un sentido a la mayoría de sus conocidas “leyes del movimiento”. Sin embargo, en parte debido al paradigma del ímpetu, y en parte a una doctrina conocida como la latitud de las formas, la crítica escolástica modificó esa manera de ver el movimiento. Una piedra se desplaza por el ímpetu creciente logrado mientras se aleja de su punto inicial; por consiguiente, el parámetro importante fue la distancia del punto de partida y no la distancia al punto final del trayecto. Además, la noción que tenía Aristóteles de la velocidad fue dividida por los escolásticos en conceptos que poco después de Galileo se convirtieron en

nuestra velocidad media y velocidad instantánea. Pero cuando se examinan a través del paradigma del cual esas concepciones formaban parte, tanto la caída de la piedra como la del péndulo casi desde su inspección exhibieron las leyes que las rigen. Galileo no fue uno de los primeros hombres que sugirió que las piedras caen con un movimiento uniformemente acelerado.[10-18] Además, había desarrollado su teoría sobre ese tema junto con muchas de sus consecuencias antes de llevar a cabo sus experimentos sobre un plano inclinado. Este teorema fue otro del conjunto de nuevas regularidades accesibles al genio en el mundo conjuntamente determinado por la naturaleza y por los paradigmas de acuerdo con los cuales habían sido educados Galileo y sus contemporáneos. Viviendo en ese mundo, Galileo podía todavía, cuando deseaba hacerlo, explicar por qué Aristóteles había visto lo que vio. Sin embargo, el contenido inmediato de la experiencia de Galileo con la caída de las piedras, no fue lo que había sido la de Aristóteles.

Por supuesto, no es de ninguna manera evidente que debamos preocuparnos tanto por la "experiencia inmediata", o sea por las características perceptuales que un paradigma destaca tan notablemente, que casi desde el momento de la inspección muestran sus regularidades. Obviamente esas características deben cambiar con los compromisos de los científicos con paradigmas, pero están lejos de lo que tenemos ordinariamente en la imaginación cuando hablamos de los datos sin elaborar o de la experiencia bruta de donde se cree que procede la investigación científica. Quizá la experiencia inmediata deba dejarse a un lado y debamos, en cambio, discutir las operaciones y mediciones concretas que los científicos llevan a cabo en sus laboratorios. O quizá el análisis deba ser alejado más todavía de lo inmediatamente dado. Por ejemplo, podría llevarse a cabo en términos de algún lenguaje neutral de observación, quizá un lenguaje preparado para conformarse a las impresiones de la retina que intervienen en lo que ven los científicos. Sólo de una de esas maneras podemos esperar encontrar un reino en donde la experiencia sea nuevamente estable, de una vez por todas, en donde el péndulo y la caída forzada no sean percepciones diferentes sino más bien

interpretaciones diferentes de los datos inequívocos proporcionados por la observación de una piedra que se balancea.

Pero, ¿es fija y neutra la experiencia sensorial? ¿Son las teorías simplemente interpretaciones hechas por el hombre de datos dados? El punto de vista epistemológico que con mucha frecuencia dirigió la filosofía occidental durante tres siglos, sugiere un sí inequívoco e inmediato. En ausencia de una alternativa desarrollada, creo imposible abandonar completamente ese punto de vista. Sin embargo, ya no funciona efectivamente y los intentos para que lo haga, mediante la introducción de un lenguaje neutro para las observaciones, me parecen por ahora carentes de perspectivas.

Las operaciones y mediciones que realiza un científico en el laboratorio no son "lo dado" por la experiencia, sino más bien "lo reunido con dificultad". No son lo que ve el científico, al menos no antes de que su investigación se encuentre muy avanzada y su atención enfocada. Más bien, son índices concretos del contenido de percepciones más elementales y, como tales, se seleccionan para el examen detenido de la investigación normal, sólo debido a que prometen una oportunidad para la elaboración fructífera de un paradigma aceptado. De manera mucho más clara que la experiencia inmediata de la que en parte se derivan, las operaciones y las mediciones están determinadas por el paradigma. La ciencia no se ocupa de todas las manipulaciones posibles de laboratorio. En lugar de ello, selecciona las pertinentes para la yuxtaposición de un paradigma con la experiencia inmediata que parcialmente ha determinado el paradigma. Como resultado, los científicos con paradigmas diferentes se ocupan de diferentes manipulaciones concretas de laboratorio. Las mediciones que deben tomarse respecto a un péndulo no son las apropiadas referidas a un caso de caída forzada. Tampoco las operaciones pertinentes para la elucidación de las propiedades del oxígeno son uniformemente las mismas que las requeridas al investigar las características del aire deflogistizado.

En cuanto al lenguaje puro de observación, todavía es posible que se llegue a elaborar uno; sin embargo, tres siglos después de Descartes nuestra esperanza de que se produzca esa eventualidad depende aún exclusivamente de una teoría de la percepción y de la mente. Y la experimentación

psicológica moderna está haciendo proliferar rápidamente fenómenos a los que es raro que esa teoría pueda dar respuesta. El experimento del pato y el conejo muestra que dos hombres con las mismas impresiones en la retina pueden ver cosas diferentes; los lentes inversores muestran que dos hombres con impresiones diferentes en sus retinas pueden ver la misma cosa.

La psicología proporciona un gran caudal de otras pruebas similares y las dudas que se derivan de ellas son reforzadas fácilmente por medio de la historia de las tentativas hechas para lograr un lenguaje auténtico de la observación. Ningún intento corriente para lograr ese fin se ha acercado todavía a un lenguaje aplicable de modo general a las percepciones puras. Y los intentos que más se acercan comparten una característica que refuerza firmemente varias de las principales tesis de este ensayo. Desde el comienzo presuponen un paradigma, tomado ya sea de una teoría científica corriente o de alguna fracción de la conversación cotidiana y, a continuación, tratan de eliminar de él todos los términos no lógicos y no perceptuales. En unos cuantos campos de la conversación, ese esfuerzo se ha llevado muy lejos, con resultados fascinantes. No puede ponerse en duda que merece la pena que se lleven a cabo esos esfuerzos. Pero su resultado es un lenguaje que —como los empleados en las ciencias— encarna un conjunto de expectativas sobre la naturaleza y deja de funcionar en el momento en que esas expectativas son violadas. Nelson Goodman establece precisamente ese punto al describir las metas de su *Structure of Appearance:* “Es afortunado que no se ponga en duda nada más [que los fenómenos que se sabe que existen]; ya que la noción de los casos ‘posibles’, de los casos que no existen pero podrían haber existido, está lejos de ser clara”.[10-19] Ningún lenguaje restringido a informar sobre un mundo enteramente conocido de antemano puede producir simples informes neutrales y objetivos sobre “lo dado”. La investigación filosófica no ha producido todavía ni siquiera una muestra de lo que pudiera ser un lenguaje capaz de hacerlo.

En esas circunstancias, podemos al menos sospechar que los científicos tienen razón, tanto en los principios como en la práctica, cuando tratan al oxígeno y a los péndulos (y quizá también a los átomos y a los electrones)

como ingredientes fundamentales de su experiencia inmediata. Como resultado de la experiencia encarnada en paradigmas de la raza, la cultura y, finalmente, la profesión, el mundo de los científicos ha llegado a estar poblado de planetas y péndulos, condensadores y minerales compuestos, así como de cuerpos similares. En comparación con esos objetos de la percepción, tanto las indicaciones del metro como las impresiones de la retina son constructos elaborados a los cuales la experiencia sólo tiene acceso directo cuando el científico, para los fines específicos de su investigación, dispone que unas u otras puedan estar disponibles. Esto no quiere decir que los péndulos, por ejemplo, son las únicas cosas que un científico podría tener probabilidades de ver al mirar a una piedra que se balancea colgada de una cuerda. (Ya hemos hecho notar que los miembros de otra comunidad científica podían ver la caída forzada). Pero sí queremos sugerir que el científico que observa el balanceo de una piedra puede no tener ninguna experiencia que, en principio, sea más elemental que la visión de un péndulo. La alternativa no es una visión "fija" hipotética, sino la visión que a través de otro paradigma, convierta en otra cosa a la piedra que se balancea.

Todo esto puede parecer más razonable si recordamos nuevamente que ni los científicos ni los profanos aprenden a ver el mundo gradualmente o concepto por concepto. Excepto cuando todas las categorías conceptuales y de manipulación se encuentran preparadas de antemano, p. ej. para el descubrimiento de un elemento transuránico adicional o para la visión de una casa nueva, tanto los científicos como los profanos separan campos enteros a partir de la experiencia. El niño que transfiere la palabra 'mamá' de todos los humanos a todas las mujeres y, más tarde, a su madre, no está aprendiendo sólo qué significa 'mamá' o quién es su madre. Simultáneamente, aprende algunas de las diferencias entre varones y hembras, así como también algo sobre el modo como todas las hembras, excepto una, se comportan o pueden comportarse con él. Sus reacciones, esperanzas y creencias —en realidad, gran parte del mundo que percibe— cambian consecuentemente. Por el mismo motivo, los seguidores de Copérnico que le negaban al Sol su titulo tradicional de 'planeta', no meramente estaban aprendiendo el significado del término 'planeta' o lo

qué era el Sol, sino que en lugar de ello, estaban cambiando el significado de ‘planeta’ para poder continuar haciendo distinciones útiles en un mundo en el que todos los cuerpos celestes, no sólo el Sol, estaban siendo vistos de manera diferente a como se veían antes. Lo mismo puede decirse con respecto a cualquiera de nuestros primeros ejemplos. Ver oxígeno en lugar de aire deflogistizado, el condensador en lugar de la botella de Leyden o el péndulo en lugar de la caída forzada, era sólo una parte de un cambio constituido en la visión que tenían los científicos de muchos fenómenos relacionados, bien de la química, la electricidad o la dinámica. Los paradigmas determinan al mismo tiempo grandes campos de la experiencia.

Sin embargo, es sólo después de que la experiencia haya sido determinada en esa forma, cuando puede comenzar la búsqueda de una definición operacional o un lenguaje de observación puro. El científico o filósofo que pregunta qué mediciones o impresiones de la retina hacen que el péndulo sea lo que es, debe ser capaz ya de reconocer un péndulo cuando lo vea. Si en lugar del péndulo ve la caída forzada, ni siquiera podrá hacer su pregunta. Y si ve un péndulo, pero lo ve del mismo modo en que ve un diapasón o una balanza oscilante, no será posible responder a su pregunta. Al menos, no podría contestarse en la misma forma, porque no sería la misma pregunta. Por consiguiente, aunque son siempre legítimas y a veces resultan extraordinariamente fructíferas, las preguntas sobre las impresiones de la retina o sobre las consecuencias de manipulaciones particulares de laboratorio presuponen un mundo subdividido ya de cierta manera, tanto perceptual como conceptualmente. En cierto sentido, tales preguntas son partes de la ciencia normal, ya que dependen de la existencia de un paradigma y reciben respuestas diferentes como resultado del cambio de paradigma.

Para concluir esta sección, pasaremos por alto, de ahora en adelante, las impresiones de la retina y limitaremos nuevamente nuestra atención a las operaciones de laboratorio que proporcionan al científico indicios concretos, aunque fragmentarios, de lo que ya ha visto. Ya hemos observado repetidamente uno de los modos en que esas operaciones de laboratorio cambian al mismo tiempo que los paradigmas. Después de una revolución científica, muchas mediciones y manipulaciones antiguas

pierden su importancia y son reemplazadas por otras. No se aplican las mismas pruebas al oxígeno que al aire deflogistizado. Pero los cambios de este tipo nunca son totales. Sea lo que fuere lo que pueda ver el científico después de una revolución, está mirando aún al mismo mundo. Además, aun cuando haya podido emplearlos antes de manera diferente, gran parte de su vocabulario y de sus instrumentos de laboratorio serán todavía los mismos de antes. Como resultado de ello, la ciencia posrevolucionaria invariablemente incluye muchas de las mismas manipulaciones, llevadas a cabo con los mismos instrumentos y descritas en los mismos términos que empleaban sus precesores de la época anterior a la revolución. Si esas manipulaciones habituales han sido cambiadas, ese cambio se deberá ya sea a su relación con el paradigma o a sus resultados concretos. Sugiero ahora, mediante la presentación de un último ejemplo nuevo, cómo tienen lugar esos dos tipos de cambio. Examinando el trabajo de Dalton y de sus contemporáneos, descubriremos cómo una misma operación, cuando se liga a la naturaleza a través de un paradigma diferente, puede convertirse en indicio de un aspecto completamente diferente de la regularidad de la naturaleza. Además, veremos cómo, a veces, la antigua manipulación, en sus nuevas funciones, dará resultados concretos diferentes.

Durante gran parte del siglo XVIII y comienzos del XIX, los químicos europeos creían, de manera casi universal, que los átomos elementales de que se componían todos los elementos químicos se mantenían unidos mediante fuerzas de afinidad mutua. Así, una masa de plata permanecía unida debido a las fuerzas de afinidad entre los corpúsculos de la plata (hasta que después de Lavoisier se consideró a esos corpúsculos como compuestos, ellos mismos, de partículas todavía más elementales). De acuerdo con la misma teoría, la plata se disolvía en ácido (o la sal común en el agua) debido a que las partículas del ácido atraían a las de la plata (o las partículas del agua a las de la sal) de manera más fuerte que lo que las partículas de esos productos solubles se atraían unas a otras. O también, el cobre se disolvía en la solución de plata, precipitando la plata, debido a que la afinidad del cobre por el ácido era mayor que la del ácido por la plata. Muchos otros fenómenos eran explicados en la misma forma. Durante el siglo XVIII, la teoría de la afinidad electiva era un paradigma químico

admirable, empleado amplia y, a veces, fructíferamente, en el diseño y los análisis de experimentación química.[10-20]

Sin embargo, la teoría de la afinidad trazó la línea que separaba a las mezclas físicas de los compuestos químicos de un modo que, desde la asimilación del trabajo de Dalton, dejó de ser familiar. Los químicos del siglo XVIII reconocían dos tipos de procesos. Cuando la mezcla producía calor, luz, efervescencia o alguna otra cosa del mismo tipo, se consideraba que había tenido lugar una unión química. Por otra parte, si a simple vista podían verse las partículas de una mezcla o podían separarse mecánicamente, se trataba sólo de una mezcla física. Pero en el número, muy grande, de casos intermedios —la sal en el agua, las aleaciones, el vidrio, el oxígeno en la atmósfera, etc.—, esos criterios aproximados tenían pocas aplicaciones. Guiados por su paradigma, la mayoría de los químicos consideraban a todos esos casos intermedios como químicos, debido a que los procesos de que consistían estaban todos ellos gobernados por fuerzas del mismo tipo. La sal en el agua o el oxígeno en el nitrógeno era un ejemplo de combinación química tan apropiado como la producida mediante la oxidación del cobre. Los argumentos en pro de la consideración de las soluciones como compuestos eran muy poderosos. La teoría misma de la afinidad estaba bien asentada. Además, la formación de un compuesto explicaba la homogeneidad observada en una solución. Por ejemplo, si el oxígeno y el nitrógeno estuvieran sólo mezclados y no combinados en la atmósfera, entonces el gas más pesado, el oxígeno, se depositaría en el fondo. Dalton, que consideró que la atmósfera era una mezcla, no fue capaz nunca de explicar satisfactoriamente por qué el oxígeno no se depositaba en el fondo. La asimilación de su teoría atómica creó, eventualmente, una anomalía en donde no había existido antes.[10-21]

Nos sentimos tentados a decir que los químicos que consideraban a las soluciones como compuestos se diferenciaban de sus sucesores sólo en una cuestión de definición. En cierto sentido, es posible que ése haya sido el caso. Pero ese sentido no es el que hace que las definiciones sean simplemente convenciones convenientes. En el siglo XVIII no se distinguían completamente las mezclas de los compuestos por medio de pruebas operacionales y es posible que no hubiera sido posible hacerlo. Incluso en el

caso de que los químicos hubieran tratado de descubrir esas pruebas, habrían buscado criterios que hicieran que las soluciones se convirtieran en compuestos. La distinción entre mezclas y compuestos era una parte de su paradigma —parte del modo como veían todo su campo de investigación— y, como tal, tenía la prioridad sobre cualquier prueba de laboratorio, aunque no sobre la experiencia acumulada por la química como un todo.

Pero mientras se veía la química de ese modo, los fenómenos químicos eran ejemplos de leyes que diferían de las que surgieron de la asimilación del nuevo paradigma de Dalton. Sobre todo, en tanto las soluciones continuaban siendo compuestos, ninguna cantidad de experimentación química hubiera podido, por sí misma, producir la ley de las proporciones fijas. A fines del siglo XVIII se sabía generalmente que *algunos* compuestos contenían, ordinariamente, proporciones fijas, relativas a los pesos, de sus constituyentes. Para algunas categorías de reacciones, el químico alemán Richter incluso había anotado las regularidades actualmente abarcadas en la ley de los equivalentes químicos.[10-22] Pero ningún químico utilizó esas regularidades excepto en recetas, y ninguno de ellos, casi hasta fines del siglo, pensó en generalizarlas. Teniendo en cuenta los obvios ejemplos en contrario, como el vidrio o la sal en el agua, no era posible ninguna generalización sin el abandono de la teoría de la afinidad y la reconceptualización de los límites del dominio del químico. Esta consecuencia se hizo explícita al final del siglo, en un famoso debate entre los químicos franceses Proust y Berthollet. El primero pretendía que todas las reacciones químicas tenían lugar en proporciones fijas y el último que no era así. Ambos reunieron pruebas experimentales impresionantes para apoyar en ellas sus opiniones. Sin embargo, los dos hombres necesariamente hablaron fuera de un lenguaje común y su debate no llegó a ninguna conclusión. Donde Berthollet veía un compuesto que podía variar en proporción, Proust veía sólo una mezcla física.[10-23] En este caso, ningún experimento ni cambio de convención definicional hubiera podido tener importancia. Los dos hombres estaban tan fundamentalmente en pugna involuntaria como lo habían estado Galileo y Aristóteles.

Ésta era la situación que prevalecía durante los años en que John Dalton emprendió las investigaciones que culminaron finalmente en su famosa

teoría atómica química. Pero hasta las últimas etapas de esas investigaciones, Dalton no fue un químico ni se interesaba por la química. Era, en lugar de ello, un meteorólogo que investigaba lo que creía que eran problemas físicos de la absorción de gases por el agua y de agua por la atmósfera. En parte debido a que su preparación correspondía a otra especialización diferente y en parte debido a su propio trabajo en esa especialidad, abordó esos problemas con un paradigma distinto al de los químicos contemporáneos suyos. En particular, consideraba la mezcla de gases o la absorción de un gas por el agua como procesos físicos en los cuales las fuerzas de la afinidad no desempeñaban ninguna función. Por consiguiente, para él, la homogeneidad observada en las soluciones constituía un problema; pero pensó poder resolverlo, si lograba determinar los tamaños y pesos relativos de las diversas partículas atómicas en sus mezclas experimentales. Para determinar esos tamaños y pesos, Dalton se volvió finalmente hacia la química, suponiendo desde el comienzo que, en la gama restringida de reacciones que consideraba como químicas, los átomos sólo podían combinarse unívocamente o en alguna otra proporción simple de números enteros.[10-24] Esta suposición natural le permitió determinar los tamaños y los pesos de partículas elementales, pero también convirtió a la ley de las proporciones constantes en una tautología. Para Dalton, cualquier reacción en la que los ingredientes no entraran en proporciones fijas no era *ipso facto* un proceso puramente químico. Una ley que los experimentos no hubieran podido establecer antes de los trabajos de Dalton, se convirtió, una vez aceptados esos trabajos, en un principio constitutivo que ningún conjunto simple de medidas químicas hubiera podido trastornar. Como resultado de lo que es quizá nuestro ejemplo más completo de revolución científica, las mismas manipulaciones químicas asumieron una relación con la generalización química muy diferente de la que habían tenido antes.

No es preciso decir que las conclusiones de Dalton fueron muy atacadas cuando las anunció por primera vez. Berthollet, sobre todo, no se convenció nunca. Tomando en consideración la naturaleza del problema, no necesitaba convencerse. Pero para la mayoría de los químicos el nuevo paradigma de Dalton resultó convincente allí donde el de Proust no lo había sido, pues

tenía implicaciones más amplias e importantes que un mero nuevo criterio para distinguir una mezcla de un compuesto. Por ejemplo, si los átomos sólo pudieran combinarse químicamente en proporciones simples de números enteros, entonces un nuevo examen de los datos químicos existentes debería mostrar ejemplos de proporciones múltiples así como de fijas. Por ejemplo, los químicos dejaron de escribir que los dos óxidos del carbono, contenían 56 y 72 por ciento de oxígeno, en peso; en lugar de ello, escribieron que un peso de carbón se combinaría ya fuera con 1.3 o con 2.6 pesos de oxígeno. Cuando se registraban de este modo los resultados de las antiguas manipulaciones, saltaba a la vista una proporción de 2 a 1; y esto ocurría en el análisis de muchas reacciones conocidas, así como también de varias otras nuevas. Además, el paradigma de Dalton hizo que fuera posible asimilar el trabajo de Richter y comprender toda su generalidad. Sugirió asimismo nuevos experimentos, principalmente los de Gay-Lussac, sobre la combinación de volúmenes y esos experimentos dieron como resultado otras regularidades, con las que los químicos no habían soñado siquiera. Lo que los químicos tomaron de Dalton no fueron nuevas leyes experimentales sino un modo nuevo para practicar la química (Dalton mismo lo llamó "nuevo sistema de filosofía química") y ello resultó tan rápidamente fructífero que sólo unos cuantos de los químicos más viejos de Francia e Inglaterra fueron capaces de oponerse.[10-25] Como resultado, los químicos pasaron a vivir en un mundo en el que las reacciones se comportaban en forma completamente diferente de como lo habían hecho antes.

Mientras tenía lugar todo esto, ocurrió otro cambio típico y muy importante. En diversos lugares, comenzaron a cambiar los datos numéricos de la química. Cuando Dalton examinó primeramente la literatura química para buscar datos en apoyo de su teoría física, encontró varios registros de reacciones que concordaban, pero le hubiera sido casi imposible no descubrir otros que no lo hacían. Por ejemplo, las propias mediciones que hizo Proust de los dos óxidos de cobre dieron como resultados una proporción en peso de oxígeno de 1.47:1, en lugar de 2:1, que era lo que exigía la teoría atómica; y Proust es justamente el hombre a quien pudiera considerarse como el más indicado para llegar a la proporción de Dalton.[10-26] En realidad, era un experimentador muy fino y su visión de la relación

entre las mezclas y los compuestos era muy cercana a la de Dalton. Pero es difícil hacer que la naturaleza se ajuste a un paradigma. De ahí que los enigmas de la ciencia normal sean tan difíciles, y he aquí la razón por la cual las mediciones tomadas sin un paradigma conducen tan raramente a alguna conclusión definida. Por consiguiente, los químicos no podían simplemente aceptar la teoría de Dalton por las pruebas, debido a que gran parte de ellas eran todavía negativas. En lugar de ello, incluso después de aceptar la teoría, tuvieron que ajustar todavía a la naturaleza un proceso que, en realidad, hizo necesario el trabajo de casi otra generación. Cuando se llevó a cabo, incluso el porcentaje de composición de los compuestos conocidos resultó diferente. Los datos mismos habían cambiado. Éste es el último de los sentidos en que podemos desear afirmar que, después de una revolución, los científicos trabajan en un mundo diferente.

XI. La invisibilidad de las revoluciones

TODAVÍA debemos inquirir cómo se cierran las revoluciones científicas. Sin embargo, antes de hacerlo, parece indicado un último intento para reforzar la convicción sobre su existencia y su naturaleza. Hasta ahora he tratado de mostrar revoluciones por medio de ejemplos y éstos pueden multiplicarse *ad nauseam*. Pero, evidentemente, la mayor parte de esos ejemplos, que fueron deliberadamente seleccionados por su familiaridad, habitualmente han sido considerados no como revoluciones sino como adiciones al conocimiento científico. Con la misma facilidad podría tenerse también esa opinión de cualquier ilustración complementaria y es probable que ésta resultara ineficaz. Creo que hay excelentes razones por las que las revoluciones han resultado casi invisibles. Tanto los científicos como los profanos toman gran parte de la imagen que tienen de las actividades científicas creadoras, de una fuente de autoridad que disimula sistemáticamente —en parte, debido a razones funcionales importantes— la existencia y la significación de las revoluciones científicas. Sólo cuando se reconoce y se analiza la naturaleza de esta autoridad puede esperarse que los ejemplos históricos resulten completamente efectivos. Además, aunque este punto sólo podrá ser desarrollado en la sección final de este ensayo, el análisis necesario en este caso comenzará indicando uno de los aspectos del trabajo científico que lo distingue con mayor claridad de cualquier otra empresa creadora, con excepción, quizá, de la teología.

Como fuente de autoridad, acuden a mi imaginación, sobre todo, los libros de texto científicos junto con las divulgaciones y las obras filosóficas moldeadas sobre ellos. Estas tres categorías —hasta hace poco tiempo no se disponía de otras fuentes importantes de información sobre la ciencia,

excepto la práctica de la investigación— tienen una cosa en común. Se dirigen a un cuerpo ya articulado de problemas, datos y teorías, con mayor frecuencia *que* al conjunto particular de paradigmas aceptado por la comunidad científica en el momento en que dichos libros, fueron escritos. Los libros de texto mismos tienen como meta el comunicar el vocabulario y la sintaxis de un lenguaje científico contemporáneo. Las obras de divulgación tratan de describir las mismas aplicaciones, en un lenguaje que se acerca más al de la vida cotidiana. Y la filosofía de la ciencia, sobre todo la del mundo de habla inglesa, analiza la estructura lógica del mismo cuerpo de conocimientos científicos, íntegro. Aunque un estudio más completo tendría necesariamente que ocuparse de las distinciones muy reales entre esos tres géneros, sus similitudes son las que más nos interesan por el momento. Las tres categorías registran los *resultados* estables de revoluciones pasadas y, en esa forma, muestran las bases de la tradición corriente de la ciencia normal. Para cumplir con su función, no necesitan proporcionar informes auténticos sobre el modo en que dichas bases fueron reconocidas por primera vez y más tarde adoptadas por la profesión. En el caso de los libros de texto, por lo menos, existen incluso razones poderosas por las que, en esos temas, deban ser sistemáticamente engañosos.

En la sección II señalamos que con el surgimiento de un primer paradigma en cualquier campo de la ciencia, existía una invariable concomitancia respecto a una seguridad creciente en los libros de texto o en sus equivalentes. En la última sección de este ensayo sostendremos cómo el dominio por dichos libros de texto de una ciencia madura, diferencia de manera importante su patrón de desarrollo del de otros campos. Por el momento, demos por sentado que, hasta un punto sin precedente en otros campos, tanto los conocimientos científicos de los profesionales como los de los profanos se basan en libros de texto y en unos cuantos tipos más, de literatura derivada de ellos. Sin embargo, puesto que los libros de texto son vehículos pedagógicos para la perpetuación de la ciencia normal, siempre que cambien el lenguaje, la estructura de problemas o las normas de la ciencia normal, tienen, íntegramente o en parte, que volver a escribirse. En resumen, deben volverse a escribir inmediatamente después de cada revolución científica y, una vez escritos de nuevo, inevitablemente

disimulan no sólo el papel desempeñado sino también la existencia misma de las revoluciones que los produjeron. A menos que personalmente haya experimentado una revolución durante su propia vida, el sentido histórico del científico activo o el del lector profano de los libros de texto sólo se extenderá a los resultados más recientes de las revoluciones en el campo.

Así pues, los libros de texto comienzan truncando el sentido de los científicos sobre la historia de su propia disciplina y, a continuación, proporcionan un substituto para lo que han eliminado. Es característico que los libros de texto de ciencia contengan sólo un poco de historia, ya sea en un capítulo de introducción o, con mayor frecuencia, en dispersas referencias a los grandes héroes de una época anterior. Por medio de esas referencias, tanto los estudiantes como los profesionales llegan a sentirse participantes de una extensa tradición histórica. Sin embargo, la tradición derivada de los libros de texto, en la que los científicos llegan a sentirse participantes, nunca existió efectivamente. Por razones que son obvias y muy funcionales, los libros de texto científicos (y demasiadas historias antiguas de la ciencia) se refieren sólo a las partes del trabajo de científicos del pasado que pueden verse fácilmente como contribuciones al enunciado y a la solución de los problemas paradigmáticos de los libros de texto. En parte por selección y en parte por distorsión, los científicos de épocas anteriores son representados implícitamente como si hubieran trabajado sobre el mismo conjunto de problemas fijos y de acuerdo con el mismo conjunto de cánones fijos que la revolución más reciente en teoría y metodología científicos haya hecho presentar como científicos. No es extraño que tanto los libros de texto como la tradición histórica que implican, tengan que volver a escribirse inmediatamente después de cada revolución científica. Y no es extraño que, al volver a escribirse, la ciencia aparezca, una vez más, en gran parte como acumulativa.

Por supuesto, los científicos no son el único grupo que tiende a ver el pasado de su disciplina como un desarrollo lineal hacia su situación actual. La tentación de escribir la historia hacia atrás es omnipresente y perenne. Pero los científicos se sienten más tentados a volver a escribir la historia, debido en parte a que los resultados de las investigaciones científicas no muestran una dependencia evidente sobre el contexto histórico de la

investigación y, en parte, debido a que, excepto durante las crisis y las revoluciones, la posición contemporánea de los científicos parece ser muy segura. Un número mayor de detalles históricos, tanto sobre el presente de la ciencia como sobre su pasado o una mayor responsabilidad sobre los detalles históricos presentados, sólo podría dar un *status* artificial a la idiosincrasia, los errores y las confusiones humanos. ¿Por qué honrar lo que los mejores y más persistentes esfuerzos de la ciencia han hecho posible descartar? La depreciación de los hechos históricos se encuentra incluida, profunda y es probable que también funcionalmente, en la ideología de la profesión científica, la misma profesión que atribuye el más elevado de todos los valores a detalles fácticos de otros tipos. Whitehead captó el espíritu no histórico de la comunidad científica cuando escribió: “Una ciencia que vacila en olvidar a sus fundadores está perdida”. Sin embargo, no estaba completamente en lo cierto, ya que las ciencias, como otras empresas profesionales, necesitan a sus héroes y preservan sus nombres. Afortunadamente, en lugar de olvidar a esos héroes, los científicos han estado en condiciones de olvidar o revisar sus trabajos.

El resultado de ello es una tendencia persistente a hacer que la historia de la ciencia parezca lineal o acumulativa, tendencia que afecta incluso a los científicos que miran retrospectivamente a sus propias investigaciones. Por ejemplo, los tres informes incompatibles de Dalton sobre el desarrollo de su atomismo químico hacen resaltar el hecho de que estaba interesado, desde una fecha temprana, precisamente en aquellos problemas químicos de proporciones de combinación cuya posterior resolución lo hizo famoso. En realidad, esos problemas parecen habérsele ocurrido sólo cuando descubrió la solución y, aun entonces, no antes de que su propio trabajo creador estuviera casi completamente terminado.[11-1] Lo que todos los informes sobre Dalton omiten, son los efectos revolucionarios de la aplicación a la química de un conjunto de cuestiones y conceptos que, anteriormente, estaba restringido a la física y a la meteorología. Es eso lo que hizo Dalton y el resultado fue una reorientación hacia el campo, que enseñó a los químicos a hacerse nuevas preguntas y a sacar nuevas conclusiones de datos antiguos.

O también, Newton escribió que Galileo había descubierto que la fuerza constante de gravedad produce un movimiento proporcional al cuadrado del tiempo. En efecto, el teorema cinemático de Galileo toma esa forma cuando se lo inserta en la matriz de los conceptos dinámicos propios de Newton. Pero Galileo no dijo nada parecido. Su exposición sobre los cuerpos en caída rara mente alude a fuerzas, y mucho menos a una fuerza gravitacional uniforme que haga que los cuerpos caigan.[11-2] Atribuyendo a Galileo la res puesta a una pregunta que los paradigmas de Galileo no permitían plantear, el informe de Newton oculta el efecto de una reformulación peque ña, aunque revolucionaria, sobre las preguntas que se hacían los científicos en torno al movimiento así como también sobre las respuestas que estaban dispuestos a aceptar. Pero es justa mente este cambio de formulación de las preguntas y las respuestas el que explica, mucho más que los descubrimientos empíricos nuevos, la transición de la dinámica de Aristóteles a la de Galileo y de la de éste a la de Newton. Al disimular esos cambios, la tendencia que tienen los libros de texto a hacer lineal el desarrollo de la ciencia, oculta un proceso que se encuentra en la base de los episodios más importantes del desarrollo científico.

Los ejemplos anteriores muestran, cada uno de ellos en el contexto de una revolución única, los comienzos de una reconstrucción de la historia que es completada, regularmente, por los libros de texto científicos post-revolucionarios. Pero, en esa construcción, está involucrado algo más que la multiplicación de los datos históricos engañadores que ilustramos antes. Esos datos engañadores hacen que las revoluciones resulten invisibles; la disposición del material que permanece visible en los libros de texto implica un proceso que, caso de haber existido, habría negado a las revoluciones toda función. Puesto que su finalidad es la de enseñar rápidamente al estudiante lo que su comunidad científica contemporánea cree conocer, los libros de texto tratan los diversos experimentos, conceptos, leyes y teorías de la ciencia normal corriente, hasta donde es posible, separadamente y uno por uno. Como pedagogía, esta técnica de presentación es incuestionable. Pero cuando se combina con el aire generalmente no histórico de los escritos científicos y con las construcciones engañadoras ocasionales y sistemáticas que hemos

mencionado antes, son grandes las probabilidades de que se produzca la impresión siguiente: la ciencia ha alcanzado su estado actual por medio de una serie de descubrimientos e inventos individuales que, al reunirse, constituyen el caudal moderno de conocimientos técnicos. La presentación de un libro de texto implica *que*, desde el comienzo *de* la empresa científica, los profesionales se han esforzado por las objetividades particulares que se encuentran incluidas en los paradigmas actuales. En un proceso comparado frecuentemente a la adición de ladrillos a un edificio, los científicos han ido añadiendo uno por uno hechos, conceptos, leyes y teorías al caudal de información que proporciona el libro de texto científico contemporáneo.

Pero no es así como se desarrolla una ciencia. Muchos de los enigmas de la ciencia normal contemporánea no existieron hasta después de la revolución científica más reciente. Son pocos los que, pudiendo remontarse en el tiempo hasta los comienzos históricos de la ciencia, se presentan en la actualidad. Las generaciones anteriores se ocuparon de sus propios problemas, con sus propios instrumentos y sus propios cánones de resolución. Tampoco son sólo los problemas los que han cambiado; más bien, todo el conjunto de hechos y teorías, que el paradigma de los libros de texto ajusta a la naturaleza, ha cambiado. Por ejemplo, ¿es la constancia de la composición química un hecho simple de la experiencia que los químicos hubieran podido descubrir por medio de experimentos llevados a cabo en cualquiera de los mundos en que han practicado su ciencia? ¿O es más bien un elemento —además, indudable— en una construcción nueva de hechos y teorías asociadas que Dalton ajustó a la experiencia química anterior como un todo, cambiando en el proceso dicha experiencia? O, por el mismo motivo, ¿es la aceleración constante producida por una fuerza constante un hecho simple que los estudiosos de la dinámica han buscado siempre o es más bien la respuesta a una pregunta que sólo se planteó por primera vez dentro de la teoría de Newton y que esta teoría podía responder a partir del caudal disponible de información antes de que se hiciera la pregunta?

Hacemos aquí esas preguntas con respecto a lo que, en su presentación en un libro de texto, parecen ser hechos gradualmente descubiertos. Pero, obviamente, tienen también implicaciones para lo que el libro de texto

presenta como teorías. Por supuesto, esas teorías “se ajustan a los hechos”, pero sólo mediante la transformación de la información previamente accesible en hechos que, para el paradigma anterior, no existieron en absoluto. Y esto significa que las teorías tampoco evolucionaron gradualmente para ajustarse a hechos que se encontraban presentes en todo tiempo. En lugar de ello, surgen al mismo tiempo que los hechos a los que se ajustan, a partir de una reformulación revolucionaria de la tradición científica anterior, tradición en la que la relación que intervenía en los conocimientos entre el científico y la naturaleza no era exactamente la misma.

Un último ejemplo puede aclarar esta explicación del efecto de la presentación de los libros de texto sobre nuestra imagen del desarrollo científico. Todo texto elemental de química debe presentar el concepto de elemento químico. Casi siempre, cuando se presenta esta noción, su origen se atribuye al químico Robert Boyle, del siglo XVII, en cuya obra *Sceptical Chymist* un lector atento puede descubrir una definición de ‘elemento’ muy cercana a la que se emplea en la actualidad. La referencia a las contribuciones de Boyle sirve para hacer que el novato se dé cuenta de que la química no se inició con las sulfamidas; además, le indica que una de las tareas tradicionales de los científicos es inventar conceptos de ese tipo. Como parte del arsenal pedagógico que convierte a un hombre en científico, la atribución tiene un gran éxito. Sin embargo, ilustra una vez más, el patrón de errores históricos que conduce, tanto a los estudiantes como a los profanos, a conclusiones erróneas sobre la naturaleza de la empresa científica.

Según Boyle, que estaba absolutamente en lo cierto, su “definición” de un elemento no era sino una paráfrasis de un concepto químico tradicional; Boyle lo ofreció sólo con el fin de argumentar que lo que se llama un elemento químico no existe; desde el punto de vista histórico, la versión que hacen los libros de texto de la contribución de Boyle es absolutamente errónea.[11-3] Por supuesto, ese error es trivial, aunque no más que cualquier otra representación errónea de datos. Sin embargo, lo que no es trivial es la impresión de la ciencia, fomentada cuando este tipo de error es primeramente compuesto y luego incluido dentro de la estructura técnica

del texto. Como ‘tiempo’, ‘energía’, ‘fuerza’ o ‘partícula’, el concepto de elemento es el tipo de ingrediente de un libro de texto que, a menudo, no es inventado ni descubierto en absoluto. La definición de Boyle puede hacerse remontar por lo menos hasta Aristóteles y se proyecta hacia adelante a través de Lavoisier hasta los libros de texto modernos. Esto, sin embargo, no quiere decir que la ciencia haya poseído el concepto moderno de elemento desde la antigüedad. Las definiciones verbales, como la de Boyle, tienen poco contenido científico cuando se las considera en sí mismas. No son especificaciones lógicas y completas del significado (si existen), sino más bien ayudas pedagógicas. Los conceptos científicos que indican sólo obtienen un significado pleno cuando se relacionan, dentro de un texto o de alguna otra presentación sistemática, con otros conceptos científicos, con procedimientos de manipulación y con aplicaciones de paradigmas. De ello se desprende que es casi imposible que conceptos tales como el de elemento puedan inventarse independientemente del contexto. Además, dado el contexto, raramente requieren ser inventados, puesto que se encuentran ya a mano. Tanto Boyle como Lavoisier cambiaron la significación química de ‘elemento’ en importantes aspectos; pero no inventaron la noción, ni siquiera cambiaron la fórmula verbal que le sirve de definición. Tampoco, como ya hemos visto, tuvo Einstein que inventar o redefinir explícitamente ‘espacio’ y ‘tiempo’ para darles dentro del contexto de su trabajo, un nuevo significado.

¿Cuál fue entonces la función histórica de Boyle en la parte de su trabajo que incluye la famosa “definición”? Fue el líder de una revolución científica que, mediante el cambio de la relación de ‘elemento’ en la manipulación y la teoría químicas, transformó a la noción en un instrumento muy diferente del que antes había sido y, en el proceso, modificó a la química y al mundo de los químicos.[11-4] Otras revoluciones, incluyendo la que se centra sobre Lavoisier, tuvieron que darle al concepto su forma y su función modernas. Pero Boyle proporciona un ejemplo típico tanto del proceso involucrado en cada una de esas etapas como de lo que le sucede a ese proceso cuando el conocimiento existente es incluido en un libro de texto. Más que cualquier otro aspecto singular de la ciencia, esta forma pedagógica ha determinado nuestra imagen de la naturaleza de la

ciencia y del papel desempeñado en su progreso por los inventos y los descubrimientos.

XII. La resolución de las revoluciones

Los libros de texto que hemos estado examinando sólo se producen inmediatamente después de una revolución científica. Son las bases para una nueva tradición de ciencia normal. Al ocuparnos de la cuestión relativa a su estructura, está claro que hemos omitido una etapa. ¿Cuál es el proceso mediante el que un candidato a paradigma reemplaza a su predecesor? Cualquier interpretación nueva de la naturaleza, tanto si es un descubrimiento como si se trata de una teoría, surge inicialmente, en la mente de uno o de varios individuos. Son ellos los primeros que aprenden a ver a la ciencia y al mundo de una manera diferente y su habilidad para llevar a cabo la transición es facilitada por dos circunstancias que no son comunes a la mayoría de los demás miembros de su profesión. De manera invariable, su atención se ha concentrado intensamente en los problemas provocadores de crisis; además, habitualmente, son hombres tan jóvenes o tan novatos en el campo en crisis, que la práctica los ha comprometido menos profundamente que a la mayor parte de sus contemporáneos en la opinión sobre el mundo y sobre las reglas determinadas por el antiguo paradigma. ¿Cómo pueden y qué deben hacer para convencer a toda la profesión, o al subgrupo profesional pertinente, de que su modo de ver a la ciencia y al mundo es el correcto? ¿Qué hace que el grupo abandone una tradición de investigación normal en favor de otra?

Para ver el apremio de estas preguntas, recuérdese que son las únicas reconstrucciones que puede suministrar el historiador para satisfacer a las inquisiciones de los filósofos sobre las pruebas, la verificación o la falsación de teorías científicas establecidas. Hasta el grado en que se dedique a la ciencia normal, el investigador es un solucionador de enigmas,

no alguien que ponga a prueba los paradigmas. Aunque durante la búsqueda de la solución de un enigma particular puede ensayar una serie de métodos alternativos para abordar el problema descartando los que no le dan los resultados deseados, al hacerlo no estará poniendo a prueba al *paradigma. En* lugar de ello, será como el jugador de ajedrez que, frente a un problema establecido y con el tablero, física o mentalmente ante él, ensaya varios movimientos alternativos para buscar la solución. Esos intentos de prueba, tanto si son hechos por el jugador de ajedrez como si los lleva a cabo el científico, son sólo pruebas para ellos mismos, no para las reglas del juego. Sólo son posibles en tanto se dé por sentado el paradigma. Por consiguiente, la prueba de un paradigma sólo tiene lugar cuando el fracaso persistente para obtener la solución de un problema importante haya producido una crisis. E incluso entonces, solamente se produce después de que el sentimiento de crisis haya producido un candidato alternativo a paradigma. En las ciencias, la consolidación de la prueba no consiste simplemente, como sucede con la resolución de enigmas, en la comparación de un paradigma único con la naturaleza. En lugar de ello, la prueba tiene lugar como parte de la competencia entre dos paradigmas rivales, para obtener la aceptación por parte de la comunidad científica.

Al examinarla de cerca, esta formulación muestra paralelos inesperados, y probablemente importantes, con dos de las teorías filosóficas contemporáneas más populares sobre la verificación. Pocos filósofos de la ciencia buscan todavía criterios absolutos para la verificación de las teorías científicas. Al notar que ninguna teoría puede exponerse siempre a todas las pruebas posibles y pertinentes, no preguntan si una teoría ha sido verificada sino, más bien, sobre sus probabilidades, teniendo en cuenta las pruebas que ya existen. Y para responder a esta pregunta, una escuela importante se siente impulsada a comparar la capacidad de diferentes teorías para explicar las pruebas que se encuentran a mano. Esta insistencia en comparar teorías es también característica de la situación histórica en la que se acepta una nueva teoría; es muy probable que indique uno de los sentidos en que se dirigirán las futuras discusiones sobre la verificación.

Sin embargo, en sus formas más habituales, todas las teorías de verificación de probabilidades recurren a uno u otro de los lenguajes de

observación puros o neutros que estudiamos en la sección X. Una teoría de probabilidades exige que comparemos la teoría científica dada con todas las demás que puedan imaginarse, para que se ajusten al mismo conjunto de datos observados. Otra exige la construcción imaginaria de todas las pruebas a que pueda someterse a la teoría científica dada.[12-1] Aparentemente, parte de esa construcción es necesaria para el cálculo de las probabilidades específicas, absolutas o relativas, y es difícil ver cómo puede lograrse una construcción semejante. Si, como ya hemos señalado, no puede haber ningún sistema de lenguaje o de conceptos que sea científica o empíricamente neutro, la construcción propuesta de pruebas y teorías alternativas deberá proceder de alguna tradición basada en un paradigma. Con esta limitación, no tendría acceso a todas las experiencias o teorías posibles. Como resultado de ello, las teorías probabilistas disimulan la situación de verificación tanto como la iluminan. Aunque esta situación, como insisten, depende de la comparación de teorías y de muchas pruebas presentadas, las teorías y observaciones en cuestión están siempre estrechamente relacionadas con otras ya existentes. La verificación es como la selección natural: toma las más viables de las alternativas reales, en una situación histórica particular. El hecho de si esta elección es la mejor que pudo hacerse si se hubiera dispuesto todavía de otras alternativas o si los datos hubieran sido de otro tipo, no es una pregunta que pueda plantearse de manera útil. No hay instrumentos que puedan emplearse para encontrar las respuestas pertinentes.

Un método muy distinto para abordar todo este conjunto de problemas ha sido desarrollado por Karl R. Popper, quien niega la existencia de todo procedimiento de verificación.[12-2] En su lugar, hace hincapié en la importancia de la falsación, o sea de la prueba que, debido a que su resultado es negativo, hace necesario rechazar una teoría establecida. Claramente, el papel atribuido así a la falsación se parece mucho al que en este ensayo atribuimos a las experiencias anómalas; o sea, a las experiencias que, al provocar crisis, preparan el camino hacia una nueva teoría. Sin embargo, las experiencias anómalas no pueden identificarse con las de falsación. En realidad, dudo mucho que existan estas últimas. Como repetidamente hemos subrayado con anterioridad, ninguna teoría resuelve

nunca todos los problemas a que en un momento dado se enfrenta, ni es frecuente que las soluciones ya alcanzadas sean perfectas. Al contrario, es justamente lo incompleto y lo imperfecto del ajuste entre la teoría y los datos existentes lo que, en cualquier momento, define muchos de los enigmas que caracterizan a la ciencia normal. Si todos y cada uno de los fracasos en el ajuste sirvieran de base para rechazar las teorías, todas las teorías deberían ser rechazadas en todo momento. Por otra parte, si sólo un fracaso contundente en el ajuste justifica el rechazo de la teoría, entonces los seguidores de Popper necesitarán cierto criterio de "improbabilidad" o de "grado de demostración de falsación". Al desarrollar un criterio, es casi seguro que se enfrentarán al mismo tejido de dificultades que ha obsesionado a los partidarios de las diversas teorías de verificación probabilista.

Muchas de las dificultades precedentes pueden evitarse reconociendo que tanto las opiniones prevalecientes como las opuestas, con respecto a la lógica básica de la investigación científica, han tratado de comprimir en uno solo dos procesos muy separados. La experiencia anómala de Popper es importante para la ciencia, debido a que produce competidores para un paradigma existente. Pero la demostración de falsación aunque seguramente tiene lugar, no aparece con el surgimiento, o simplemente a causa del surgimiento de una anomalía o de un ejemplo que demuestre la falsación. En lugar de ello, es un proceso subsiguiente y separado que igualmente bien podría llamarse verificación, puesto que consiste en el triunfo de un nuevo paradigma sobre el anterior. Además, es en este proceso conjunto de verificación y demostración de falsación en donde desempeña un papel crucial la comparación probabilista de teorías. Creo que esa formulación en dos etapas tiene la virtud de una gran verosimilitud y puede capacitarnos también para comenzar a explicar el papel del acuerdo (o del desacuerdo) entre el hecho y la teoría en el proceso de verificación. Para el historiador al menos, tiene poco sentido el sugerir que la verificación es establecer el acuerdo del hecho con la teoría. Todas las teorías que tuvieron significado histórico estuvieron acordes con los hechos; pero sólo en forma relativa. No existe ninguna respuesta más precisa para la pregunta de si una teoría individual se ajusta a los hechos y hasta qué punto lo hace. Pero pueden

plantearse preguntas muy similares a ésas, cuando se toman las teorías colectivamente o por parejas. Cabe preguntar cuál de dos teorías, reales y en competencia, se ajusta *mejor* a los hechos. Por ejemplo, aunque ni la teoría de Priestley ni la de Lavoisier concordaban precisamente con las observaciones existentes, pocos contemporáneos dudaron más de una década en llegar a la conclusión de que, de las dos, la teoría de Lavoisier era la que mejor se ajustaba.

Sin embargo, esta formulación hace que la tarea de escoger entre paradigmas parezca más fácil y familiar de lo que es en realidad. Si no hubiera más que un conjunto de problemas científicos, un mundo en el que poder ocuparse de ellos y un conjunto de normas para su resolución, la competencia entre paradigmas podría resolverse por medio de algún proceso más o menos rutinario, como contar el número de problemas resueltos por cada uno de ellos. Pero, en realidad, esas condiciones no son satisfechas completamente nunca. Quienes proponen los paradigmas en competencia se encuentran siempre, por lo menos ligeramente, en pugna involuntaria. Ninguna de las partes dará por sentadas todas las suposiciones no empíricas que necesita la otra para poder desarrollar su argumento; como Proust y Berthollet, cuando discutieron sobre la composición de los compuestos químicos, estarán, hasta cierto punto, obligadas a hablar sin entenderse; aunque cada una de ellas podrá esperar convencer a la otra de su modo de ver su ciencia y sus problemas, ninguna de ellas podrá esperar probar su argumento. La competencia entre paradigmas no es el tipo de batalla que pueda resolverse por medio de pruebas.

Ya hemos visto varias razones por las que los proponentes de paradigmas en competencia necesariamente fracasan al entrar en contacto completo con los puntos de vista de los demás. Colectivamente, estas razones han sido descritas como la inconmensurabilidad de las tradiciones científicas normales anteriores y posteriores a las revoluciones, y sólo necesitaremos repetirlas brevemente. En primer lugar, los proponentes de paradigmas en competencia estarán a menudo en desacuerdo con respecto a la lista de problemas que cualquier candidato a paradigma deba resolver. Sus normas o sus definiciones de la ciencia serán diferentes. ¿Debe una teoría del movimiento explicar la causa de la fuerza de atracción entre

partículas de materia o puede simplemente notar la existencia de esas fuerzas? La dinámica de Newton fue ampliamente rechazada debido a que, a diferencia de las teorías de Aristóteles y de Descartes, implicaba la última respuesta a la pregunta. Por consiguiente, cuando se aceptó la teoría de Newton, una pregunta fue eliminada de la ciencia. Sin embargo, la relatividad general podría públicamente enorgullecerse de haber resuelto esa pregunta. También la teoría química de Lavoisier, diseminada a lo largo del siglo XIX, impidió a los químicos plantear la pregunta de por qué se parecían tanto los metales, pregunta que la química del flogisto había planteado y respondido. La transición al paradigma de Lavoisier, como la que tuvo lugar al de Newton, significo no solo la pérdida de una pregunta permitida sino también la de una solución lograda; sin embargo, tampoco esa pérdida fue permanente. En el siglo XX, las preguntas respecto a las cualidades de las substancias químicas han sido nuevamente incluidas en la ciencia, junto con algunas respuestas.

Sin embargo, está implicado algo más que la inconmensurabilidad de las normas. Puesto que los nuevos paradigmas nacen de los antiguos, incorporan ordinariamente gran parte del vocabulario y de los aparatos, tanto conceptuales como de manipulación, que previamente empleó el paradigma tradicional. Pero es raro que empleen exactamente del modo tradicional a esos elementos que han tomado prestados. En el nuevo paradigma, los términos, los conceptos y los experimentos antiguos entran en relaciones diferentes unos con otros. El resultado inevitable es lo que debemos llamar, aunque el término no sea absolutamente correcto, un malentendido entre las dos escuelas en competencia. El profano que fruncía el ceño ante la teoría general de la relatividad de Einstein, debido a que el espacio no podía ser "curvo" —no era exactamente eso—, no estaba simplemente equivocado o engañado. Tampoco los matemáticos, los físicos y los filósofos que trataron de desarrollar una versión euclidiana de la teoría de Einstein.[12-3] Lo que anteriormente se entendía por espacio, era necesariamente plano, homogéneo, isótropo y no afectado por la presencia de la materia. De no ser así, la física de Newton no hubiera dado resultado. Para llevar a cabo la transición al universo de Einstein, todo el conjunto conceptual cuyas ramificaciones son el espacio, el tiempo, la materia, la

fuerza, etc., tenía que cambiarse y establecerse nuevamente sobre el conjunto de la naturaleza. Sólo los hombres que habían sufrido juntos o no habían logrado sufrir esa transformación serían capaces de descubrir precisamente en qué estaban o no de acuerdo. La comunicación a través de la línea de división revolucionaria es inevitablemente parcial. Por ejemplo, tómese en consideración a los hombres que llamaron loco a Copérnico porque proclamó que la Tierra se movía. No estaban tampoco simple o completamente equivocados. Parte de lo que entendían por 'Tierra' era una posición fija. Por lo menos, su tierra no podía moverse. De la misma manera, la innovación de Copérnico no fue sólo mover la Tierra; por el contrario, fue un modo completamente nuevo de ver los problemas de la física y de la astronomía, que necesariamente cambiaba el significado de 'Tierra' y de 'movimiento'.[12-4] Sin esos cambios, el concepto de que la Tierra se movía era una locura. Por otra parte, una vez llevados a cabo y comprendidos, tanto Descartes como Huyghens comprendieron que el movimiento de la Tierra era una cuestión que carecía de contenido para la ciencia.[12-5]

Estos ejemplos señalan hacia el tercero y más fundamental de los aspectos de la inconmensurabilidad de los paradigmas en competencia. En un sentido que soy incapaz de explicar de manera más completa, quienes proponen los paradigmas en competencia practican sus profesiones en mundos diferentes. Unos contienen cuerpos forzados que caen lentamente y otro péndulos que repiten sus movimientos una y otra vez. En un caso, las soluciones son compuestos, en otro, mezclas. Uno se encuentra inserto en una matriz plana del espacio, el otro en una curva. Al practicar sus profesiones en mundos diferentes, los dos grupos de científicos ven cosas diferentes cuando miran en la misma dirección desde el mismo punto. Nuevamente, esto no quiere decir que pueden ver lo que deseen. Ambos miran al mundo y aquello a lo que miran no ha cambiado. Pero, en ciertos campos, ven cosas diferentes y las ven en relaciones distintas unas con otras. Es por eso por lo que una ley que ni siquiera puede ser establecida por demostración a un grupo de científicos, a veces puede parecerle a otro intuitivamente evidente. Por eso, asimismo, antes de que puedan esperar comunicarse plenamente, un grupo o el otro deben experimentar la

conversión que hemos estado llamando cambio de paradigma. Precisamente porque es una transición entre inconmensurables, la transición entre paradigmas en competencia no puede llevarse a cabo paso a paso, forzada por la lógica y la experiencia neutral. Como el cambio de forma *(Gestalt)*, debe tener lugar de una sola vez (aunque no necesariamente en un instante) o no ocurrir en absoluto.

Entonces, ¿cómo llegan los científicos a hacer esta trasposición? Parte de la respuesta es que con mucha frecuencia no la hacen. El copernicanismo obtuvo muy pocos adeptos durante casi un siglo después de la muerte de Copérnico. El trabajo de Newton no fue generalmente aceptado, sobre todo en la Europa continental, durante más de medio siglo después de la aparición de los *Principia*.[12-6] Priestley nunca aceptó la teoría del oxígeno, ni Lord Kelvin la teoría electromagnética y así sucesivamente. Las dificultades de conversión han sido notadas con frecuencia por los científicos mismos. Darwin, en un pasaje particularmente perceptivo al final de su *Origin of Species*, escribió: "Aunque estoy plenamente convencido de la verdad de las opiniones expresadas en este volumen…, no espero convencer, de ninguna manera, a los naturalistas experimentados cuyas mentes están llenas de una multitud de hechos que, durante un transcurso muy grande de años, han visto desde un punto de vista directamente opuesto al mío… Pero miro con firmeza hacia el futuro, a los naturalistas nuevos y que están surgiendo, porque serán capaces de ver ambos lados de la cuestión con imparcialidad".[12-7] Y Max Planck, pasando revista a su propia carrera en su *Scientific Autobiography*, escribió con tristeza que "una nueva verdad científica no triunfa por medio del convencimiento de sus oponentes, haciéndoles ver la luz, sino más bien porque dichos oponentes llegan a morir y crece una nueva generación que se familiariza con ella".[12-8]

Estos hechos y otros similares son demasiado comúnmente conocidos como para necesitar insistir en ellos. Pero sí necesitan ser reevaluados. En el pasado a menudo han sido considerados como indicación de que los científicos, debido a que son sólo seres humanos, no siempre pueden admitir sus errores, ni siquiera cuando se enfrentan a pruebas concretas. Yo más bien afirmaría que en estos temas no son pruebas ni errores los que

están cuestionados. La transferencia de la aceptación de un paradigma a otro es una experiencia de conversión que no se puede forzar. La resistencia de toda una vida, sobre todo por parte de aquellos cuyas carreras fecundas los han hecho comprometerse con una tradición más antigua de ciencia normal, no es una violación de las normas científicas, sino un índice de la naturaleza de la investigación científica misma. La fuente de la resistencia reside en la seguridad de que el paradigma de mayor antigüedad finalmente resolverá todos sus problemas, y de que la naturaleza puede compelerse dentro de los marcos proporcionados por el paradigma. En épocas revolucionarias, inevitablemente esa seguridad se muestra como terca y tenaz, lo que en ocasiones incluso llega a ser. Pero es también algo más que eso. Esta misma seguridad es la que hace posible a una ciencia, normal o solucionadora de enigmas. Y es sólo a través de la ciencia normal como la comunidad profesional primeramente logra explotar el alcance potencial y la justeza del paradigma más antiguo y más tarde, aislar la aporía de cuyo estudio pueda surgir un nuevo paradigma.

No obstante, el pretender que la resistencia es inevitable y legítima y que el cambio de paradigma no puede justificarse por medio de pruebas, no quiere decir que no haya argumentos pertinentes o que no sea posible persuadir a los científicos de que cambien de manera de pensar. Aunque a veces se requiere de una generación para llevar a cabo el cambio, las comunidades científicas se han convertido una vez tras otra a los nuevos paradigmas. Además, esas conversiones no ocurren a pesar del hecho de que los científicos sean humanos, sino debido a que lo son. Aunque algunos científicos, sobre todo los más viejos y experimentados, puedan resistirse indefinidamente, la mayoría de ellos, en una u otra forma, podrán ser logrados. Las conversiones se producirán poco a poco hasta cuando, después de que los últimos en oponer resistencia mueran, toda la profesión se encuentre nuevamente practicando de acuerdo con un solo paradigma, aunque diferente. Debemos por consiguiente, inquirir cómo se induce a la conversión y cómo se encuentra resistencia.

¿Qué tipo de respuesta puede esperarse a esta pregunta? Tan sólo debido a que se refiere a técnicas de persuasión o a argumentos y contra-argumentos en una situación en la que no puede haber pruebas, nuestra

pregunta es nueva y exige un tipo de estudio que no ha sido emprendido antes. Debemos prepararnos para una inspección muy parcial e impresionante. Además, lo que ya se ha dicho se combina con el resultado de esta inspección para sugerir que, cuando se pregunta algo, más sobre la persuasión que sobre las pruebas, el problema de la naturaleza de la argumentación científica no tiene una respuesta única o uniforme. Los científicos individuales aceptan un nuevo paradigma por toda clase de razones y, habitualmente, por varias al mismo tiempo. Algunas de esas razones —por ejemplo, el culto al Sol que contribuyó a que Kepler se convirtiera en partidario de Copérnico— se encuentran enteramente fuera de la esfera aparente de la ciencia.[12-9] Otras deben depender de idiosincrasias de autobiografía y personalidad. Incluso la nacionalidad o la reputación anterior del innovador y de sus maestros pueden a veces desempeñar un papel importante.[12-10] Por tanto, en última instancia, debemos aprender a hacer esa pregunta de una manera diferente. No deberemos interesarnos por los argumentos que de hecho convierten a uno u otro individuo, sino más bien por el tipo de comunidad que siempre, tarde o temprano, se reforma como un grupo único. Voy, sin embargo, a aplazar este problema para la sección final, examinando mientras tanto algunos de los tipos de argumentos que resultan particularmente efectivos en las batallas sobre cambios de paradigmas. Probablemente la pretensión simple de mayor relevancia que plantean quienes proponen un nuevo paradigma es la de que pueden resolver los problemas que condujeron al paradigma antiguo a la crisis. Cuando de manera legítima puede hacerse esta pretensión con frecuencia es la más efectiva posible. En el campo en que se propone, se sabe que el paradigma se encuentra en dificultades. Estas dificultades han sido exploradas repetidamente y las tentativas para vencerlas han resultado vanas una y otra vez. Se han reconocido y atestiguado “experimentos cruciales” —los que son capaces de establecer una discriminación particularmente clara entre los dos paradigmas—, antes de que se inventara siquiera el nuevo paradigma. Copérnico pretendía, en esa forma, que había resuelto el problema que se había resistido durante tanto tiempo sobre la longitud del año del calendario, Newton que había reconciliado la mecánica terrestre con la celeste, Lavoisier que había

resuelto los problemas de identidad de los gases y de las relaciones de peso y Einstein que había hecho que la electrodinámica fuera compatible con una ciencia del movimiento revisada.

Las pretensiones de este tipo tienen muchas probabilidades de tener éxito si el nuevo paradigma muestra una precisión cuantitativa sorprendentemente mayor que la de su competidor más antiguo. La superioridad cuantitativa de las tablas Rudolphine de Kepler sobre todas las que habían sido calculadas desde la aparición de la teoría de Tolomeo, fue un factor importante para la conversión de los astrónomos al copernicanismo. El éxito de Newton para predecir observaciones astronómicas cuantitativas fue probablemente la razón singular más importante del triunfo de su teoría sobre sus competidoras más razonables, pero más uniformemente cualitativas. Y en este siglo, el sorprendente éxito cuantitativo tanto de la ley de la radiación de Planck como de la del átomo de Bohr, persuadieron rápidamente a los físicos de que debían adoptarlas, aun cuando, viendo la ciencia física como un todo, esas dos contribuciones creaban muchos más problemas de los que resolvían.[12-11]

La pretensión de haber resuelto los problemas provocadores de una crisis, sin embargo, raramente es suficiente por sí sola. Además, no siempre puede hacerse de manera legítima. En efecto, la teoría de Copérnico no era más exacta que la de Tolomeo y no condujo directamente a ningún mejoramiento en el calendario. O también, la teoría ondulatoria de la luz no tuvo, durante varios años después de haber sido proclamada, ni siquiera el mismo éxito que su rival corpuscular para resolver los efectos de polarización, que eran una de las causas principales de la crisis de la óptica. A veces, la práctica floja que caracterice a la investigación no-ordinaria producirá un candidato a paradigma que, inicialmente, no contribuya en absoluto a resolver los problemas que provoquen la crisis. Cuando eso suceda, deberán obtenerse pruebas de otros lugares del campo, como de todas formas sucede con frecuencia. En estas otras zonas pueden desarrollarse paradigmas particularmente persuasivos si el nuevo paradigma permite la predicción de fenómenos totalmente insospechados cuando prevalecía el paradigma anterior.

Por ejemplo, la teoría de Copérnico sugirió que los planetas debían ser similares a la Tierra, que Venus debía mostrar fases y que el Universo debía ser muchísimo más grande de lo que hasta entonces se había supuesto. Como resultado de ello, cuando, sesenta años después de su muerte, los telescopios descubrieron repentinamente montañas en la Luna, las fases de Venus y un número inmenso de estrellas cuya existencia no se sospechaba siquiera, esas observaciones dieron a la nueva teoría muchísimos adeptos, principalmente entre los no astrónomos.[12-12] En el caso de la teoría ondulatoria, una de las causas principales de la conversión de profesionales resultó más dramática. La resistencia opuesta por los franceses se derrumbó de repente y de una manera relativamente completa, cuando Fresnel logró demostrar la existencia de un punto blanco en el centro de la sombra de un disco. Era un efecto que ni siquiera él había esperado, pero que Poisson, inicialmente uno de sus oponentes, había demostrado que era una consecuencia necesaria aunque absurda de la teoría de Fresnel.[12-13] A causa de la valía de su impacto y de que de manera evidente, desde un principio, no habían sido incluidos en la nueva teoría, argumentos como estos resultan especialmente persuasivos. A veces esa fuerza complementaria puede explotarse, incluso a través de fenómenos que han sido observados mucho antes de que se presentara la teoría que los explica. Por ejemplo, Einstein no parece haber previsto que la relatividad general explicara con precisión la conocida anomalía en el movimiento del perihelio de Mercurio y experimentó el triunfo consiguiente cuando lo logró.[12-14]

Todos los argumentos en pro de un nuevo paradigma que hemos presentado hasta ahora, han estado basados en la habilidad comparativa de un competidor para resolver problemas. Para los científicos, esos argumentos son ordinariamente los más importantes y persuasivos. Los ejemplos anteriores no deben dejar dudas sobre el origen de su inmensa atracción. Pero, por razones que veremos dentro de poco, no son ni individual ni colectivamente apremiantes. Afortunadamente, hay también otro tipo de consideración que puede conducir a los científicos a rechazar un antiguo paradigma, en favor de otro nuevo. Éstos son los argumentos, raramente establecidos explícitamente, que hacen un llamamiento al sentido

que tienen los individuos de lo apropiado y de lo estético: se dice que la nueva teoría es “más neta”, “más apropiada” o “más sencilla” que la antigua. Es probable que esos argumentos sean menos efectivos en las ciencias que en la matemática. Las primeras versiones de la mayoría de los nuevos paradigmas son aproximadas. Para cuando puede desarrollarse toda su atracción estética, la mayor parte de la comunidad ha sido persuadida por otros medios. Sin embargo, la importancia de las consideraciones de estética puede ser a veces decisiva. Aunque a menudo sólo atraen a unos cuantos científicos hacia una nueva teoría, es posible que su triunfo final dependa precisamente de esos pocos. Si por fuertes razones individuales no lo hubieran tomado a su cargo rápidamente, el nuevo candidato a paradigma pudiera no desarrollarse nunca lo suficiente como para atraer a la comunidad científica como un todo.

Para ver las razones de la importancia de esas consideraciones más subjetivas y estéticas, recuérdese qué es un debate paradigmático. Cuando por primera vez se propone un candidato a paradigma, es raro que haya resuelto más que unos cuantos de los problemas a que se enfrenta y la mayoría de las soluciones distarán mucho todavía de ser perfectas. Hasta Kepler, la teoría de Copérnico apenas había logrado mejorar las predicciones de posición planetaria que había hecho Tolomeo. Cuando Lavoisier vio el oxígeno como “el aire mismo entero”, su nueva teoría no podía enfrentarse en absoluto a los problemas presentados por la proliferación de nuevos gases, un argumento que utilizó con gran éxito Priestley en su contraataque. *Los* casos como el del punto blanco de Fresnel son extremadamente raros. Ordinariamente, es sólo mucho más tarde, después de que el nuevo paradigma ha sido desarrollado, aceptado y explotado, cuando se desarrollan argumentos aparentemente decisivos, como el péndulo de Foucault para demostrar la rotación de la Tierra o el experimento de Fizeau para demostrar que la luz se desplaza más rápidamente en el aire que en el agua. El producirlos es parte de la ciencia normal y su función no se desempeña en el debate paradigmático sino en los libros de texto posteriores a la revolución.

Antes de que se escribieran esos libros de texto, mientras tiene lugar el debate, la situación es muy diferente. Habitualmente, los adversarios de un

nuevo paradigma pueden legítimamente pretender que incluso en la zona de crisis éste es muy poco superior a su rival tradicional; por supuesto, resuelve mejor algunos problemas y descubre algunas regularidades nuevas. Pero es probable que el antiguo paradigma pueda articularse para satisfacer esas condiciones, como lo ha hecho antes con otras. Tanto el sistema astronómico geocéntrico de Tycho Brahe como las últimas versiones de la teoría del flogisto fueron respuestas a desafíos planteados por un nuevo candidato a paradigma, y ambas tuvieron un éxito completo.[12-15] Además, los defensores de la teoría y los procedimientos tradicionales pueden casi siempre señalar problemas que su nuevo rival no ha resuelto pero que, desde el punto de vista de ellos, no son problemas en absoluto. Hasta el descubrimiento de la composición del agua, la combustión del hidrógeno era un fuerte argumento en pro de la teoría del flogisto y en contra de Lavoisier; y después del triunfo de la teoría del oxígeno, todavía no podía explicar la preparación de un gas combustible a partir del carbono, fenómeno al que los partidarios del flogisto habían recurrido como apoyo firme para su teoría.[12-16] Incluso en la zona en crisis, el balance del argumento y del contraargumento pueden ser muy similares y fuera de esa zona, la balanza, con frecuencia, favorecerá a la tradición. Copérnico destruyó una explicación mucho tiempo reconocida del movimiento de la Tierra, sin reemplazarla; Newton hizo lo mismo con una explicación más antigua de la gravedad, Lavoisier con las propiedades comunes de los metales, y así sucesivamente. En resumen, si debe juzgarse un nuevo candidato a paradigma desde el principio por personas testarudas que sólo examinen la capacidad relativa de resolución de problemas, las ciencias experimentarían muy pocas revoluciones importantes. Añádanse los argumentos contrarios, generados por lo que hemos denominado antes la inconmensurabilidad de los paradigmas, y es posible que las ciencias pudieran no sufrir revolución alguna.

Pero los debates paradigmáticos no son realmente sobre la capacidad relativa de resolución de problemas aunque, por buenas razones, se expresen habitualmente en esos términos. En lugar de ello, lo que se encuentra en juego es qué paradigma deberá guiar en el futuro las investigaciones que se lleven a cabo sobre problemas que ninguno de los

competidores puede todavía resolver completamente. Es necesaria una decisión entre métodos diferentes de practicar la ciencia y, en esas circunstancias, esa decisión deberá basarse menos en las realizaciones pasadas que en las promesas futuras. El hombre que adopta un nuevo paradigma en una de sus primeras etapas, con frecuencia deberá hacerlo, a pesar de las pruebas proporcionadas por la resolución de los problemas. O sea, deberá tener fe en que el nuevo paradigma tendrá éxito al enfrentarse a los muchos problemas que se presenten en su camino, sabiendo sólo que el paradigma antiguo ha fallado en algunos casos. Una decisión de esta índole sólo puede tomarse con base en la fe.

Ésa es una de las razones por las que resulta tan importante una crisis anterior. Los científicos que no la hayan experimentado, raramente renunciarán a las pruebas poderosas de la resolución de problemas para seguir lo que fácilmente pueda resultar y será considerado como un fuego fatuo. Pero la crisis sola no es suficiente. Debe haber también una base, aun cuando no necesite ser racional ni correcta en definitiva, para tener fe en el candidato particular que se escoja. Algo debe hacer sentir, al menos a unos cuantos científicos, que la nueva proposición va por buen camino y, a veces, sólo consideraciones estéticas personales e inarticuladas pueden lograrlo. Hay hombres que se han dejado convertir por ellas, en momentos en los que la mayoría de los argumentos técnicos articulables señalaban en dirección opuesta. Cuando fueron presentadas por primera vez, ni la teoría astronómica de Copérnico ni la teoría de la materia de De Broglie tenían muchos otros puntos importantes de atracción. Incluso hoy en día, la teoría general de Einstein atrae a los hombres principalmente sobre bases estéticas, atractivo que pocas personas fuera de la matemática han podido sentir.

Esto no quiere decir que los nuevos paradigmas triunfan en definitiva mediante alguna estética mística. Contrariamente, son muy pocos los hombres que abandonan una tradición sólo por esas razones. Quienes lo hacen, con frecuencia se dan cuenta de haber sido llevados a conclusiones erróneas. Pero para que un paradigma pueda triunfar deberá ganar algunos primeros adeptos, hombres que lo desarrollen hasta el punto de que puedan producirse y multiplicarse argumentos tenaces. E incluso estos argumentos,

cuando son producidos, no son individualmente decisivos. Debido a que los científicos son hombres razonables, uno u otro de los argumentos persuadirán en última instancia a muchos de ellos. Pero no existe ningún argumento único que pueda o deba persuadirlos a todos. Lo que ocurre, más que la conversión de un solo grupo, es un cambio cada vez mayor en la distribución de la fidelidad profesional.

Al comienzo, un nuevo candidato a paradigma puede tener pocos partidarios, y a veces los motivos de esos partidarios pueden resultar sospechosos. Sin embargo, si son competentes, lo mejorarán, explorarán sus posibilidades y mostrarán lo que sería pertenecer a la comunidad guiada por él. Al continuar ese proceso, si el paradigma está destinado a ganar la batalla, el número y la fuerza de los argumentos de persuasión en su favor aumentarán. Entonces más científicos se convertirán y continuará la exploración del nuevo paradigma. Gradualmente, el número de experimentos, instrumentos, artículos y libros basados en el paradigma se multiplicará. Otros hombres más, convencidos de la utilidad de la nueva visión, adoptarán el nuevo método para practicar la ciencia normal, hasta que, finalmente, sólo existan unos cuantos que continúen oponiéndole resistencia. Y ni siquiera podemos decir que estén en un error. Aunque el historiador puede encontrar siempre a hombres que, como Priestley, se mostraron irrazonables al resistirse durante tanto tiempo como lo hicieron, no hallará un punto en el que la resistencia se haga ilógica o no científica. Cuando mucho, puede desear decir que el hombre que sigue oponiendo resistencia después de que se hayan convencido todos los demás miembros de su profesión, deja *ipso facto* de ser un científico.

XIII. Progreso a través de las revoluciones

EN LAS páginas precedentes he incluido mi descripción esquemática del desarrollo científico hasta donde es posible llegar en este ensayo; no pueden, sin embargo, proporcionar una conclusión completa. Si esta descripción ha captado la estructura esencial de la evolución continua de una ciencia, al mismo tiempo habrá planteado un problema: ¿por qué debe progresar continuamente la empresa bosquejada antes, cuando, por ejemplo, el arte, la teoría política y la filosofía no lo hagan? ¿Por qué es el progreso una condición reservada casi exclusivamente a las actividades que llamamos ciencia? Las respuestas más usuales a este problema, han sido negadas en el conjunto de este ensayo. Debemos concluirlo, por consiguiente, preguntando si pueden hallarse substitutos.

Puede notarse, inmediatamente, que parte de la pregunta es absolutamente semántica. En medida muy grande, el término 'ciencia' está reservado a campos que progresan de manera evidente. En ninguna parte se muestra esto de manera más clara que en los debates repetidos sobre si una u otra de las ciencias sociales contemporáneas es en realidad una ciencia. Esos debates tienen paralelos en los periodos anteriores a los paradigmas de los campos que, en la actualidad, son sin vacilaciones llamados ciencias. Su resultado ostensible es una definición completa de ese término turbador. Por ejemplo, hay hombres que pretenden que la psicología es una ciencia, debido a que posee tales y cuales características. Otros, al contrario, arguyen que esas características son innecesarias o que no son suficientes para convertir a ese campo en una ciencia. Con frecuencia se gastan grandes energías, se despiertan grandes pasiones y los observadores exteriores tienen grandes dificultades para saber por qué. ¿Hay mucho que pueda

depender de una *definición* de 'ciencia'? ¿Puede una definición indicarle a un hombre si es o no un científico? En ese caso, ¿por qué no se preocupan los artistas o los científicos naturales por la definición del término? De manera inevitable, llegamos a sospechar que lo que se encuentra en juego es algo más fundamental. Es probable que, en realidad, se hagan preguntas como las siguientes: ¿por qué no progresa mi campo del mismo modo que lo hace, por ejemplo, la física? ¿Qué cambios de técnicas, de métodos o de ideología lo harían capaz de progresar en esa forma? Éstas sin embargo, no son preguntas que pudieran responder a un acuerdo con respecto a la definición. Además, si sirve el precedente de las ciencias naturales, no cesarán de ser una causa de preocupación cuando se halle una definición, sino cuando los grupos que actualmente ponen en duda su propio *status* lleguen a un consenso sobre sus realizaciones pasadas y presentes. Por ejemplo, puede ser significativo que los economistas arguyan menos sobre si su campo es o no una ciencia que el que lo hagan los profesionales de varios otros campos de las ciencias sociales. ¿Se debe esto a que los economistas saben qué es la ciencia? ¿O es más bien la economía la que los hace estar de acuerdo?

Este punto tiene una recíproca que, aunque ya no sea simplemente semántica, puede ayudar a mostrar las conexiones inextricables entre nuestras nociones de ciencia y de progreso. Durante muchos siglos, tanto en la Antigüedad como en los comienzos de la Europa moderna, la pintura fue considerada *la* disciplina acumulativa. Durante esos años, se suponía que la meta del artista era la representación. Los críticos y los historiadores, como Plinio y Vasari, registraron con veneración la serie de inventos que, desde el escorzo hasta el claroscuro, habían hecho posible, sucesivamente, representaciones más perfectas de la naturaleza.[13-1] Pero ésos son también los años, particularmente durante el Renacimiento, cuando no se consideraba que hubiera una gran separación entre las ciencias y las artes. Leonardo era sólo uno de entre muchos hombres que pasaba libremente de uno a otro campo, los que sólo más tarde se hicieron categóricamente distintos.[13-2] Además, incluso después de que cesó ese intercambio continuo, el término 'arte' continuó aplicándose tanto a la tecnología y a las artesanías, las que también se consideraban como progresivas, como a la

pintura y a la escultura. Sólo cuando estas últimas renunciaron de manera inequívoca a la representación como finalidad y comenzaron a aprender nuevamente de los modelos antiguos, obtuvo su profundidad actual la separación que, hoy en día, damos por sentada. E incluso en la actualidad, cambiando de campos una vez más, parte de nuestra dificultad para ver las diferencias profundas entre la ciencia y la tecnología debe relacionarse con el hecho de que el progreso es un atributo evidente de ambos campos.

Sin embargo, puede sólo aclarar, no resolver, nuestras dificultades presentes el reconocer que tenemos tendencia a ver como ciencia a cualquier campo en donde el progreso sea notable. Queda el problema de comprender por qué el progreso debe ser una característica tan valiosa de una actividad llevada a cabo con las técnicas y las finalidades que hemos descrito en este ensayo. Esta pregunta resulta ser múltiple y tendremos que examinar cada una de sus ramificaciones por separado. Sin embargo, en todos los casos, con excepción del último, su resolución dependerá en parte de una inversión de nuestra visión normal de la relación entre la actividad científica y la comunidad que la practica. Debemos aprender a reconocer como causas lo que ordinariamente hemos considerado efectos. Si logramos hacer esto, las frases ‘progreso científico’ e incluso ‘objetividad científica’ pueden llegar a parecer en parte redundantes En realidad, acabamos de ilustrar uno de los aspectos de la redundancia. ¿Progresa un campo debido a que es una ciencia, o es una ciencia debido a que progresa?

Preguntémonos ahora por qué debe progresar una empresa como la ciencia normal y comencemos recordando algunas de sus características más notables. Normalmente, los miembros de una comunidad científica madura trabajan a partir de un paradigma simple o de un conjunto de paradigmas estrechamente relacionados. Es muy raro que comunidades científicas diferentes investiguen los mismos problemas. En esos casos excepcionales, los grupos comparten varios de los principales paradigmas. Sin embargo, viéndolo desde el punto de vista de cualquier comunidad simple, sea o no de científicos, el resultado del trabajo creador exitoso *es* el progreso. ¿Cómo podría ser de otra forma? Por ejemplo, acabamos de hacer notar que mientras los artistas aceptaron como meta la representación, tanto los críticos como los historiadores registraron el progreso del grupo

aparentemente unido. Otros campos creadores muestran progresos del mismo tipo. El teólogo que articula el dogma o el filósofo que refina los imperativos de Kant contribuye al progreso, aunque sólo sea al del grupo que comparte sus premisas. Ninguna escuela creadora reconoce una categoría de trabajo que, por una parte, sea un éxito de creación, pero que, por otra parte, no sea una adición a la realización colectiva del grupo. Si ponemos en duda, como lo hacen muchos, que progresen los campos no científicos, ello no se deberá a que las escuelas individuales no progresen. Más bien, debe ser porque hay siempre escuelas competidoras, cada una de las cuales pone constantemente en tela de juicio los fundamentos mismos de las otras. £1 hombre que pretende que la filosofía, por ejemplo, no ha progresado, subraya el hecho de que haya todavía aristotélicos, no que el aristotelismo no haya progresado.

Sin embargo, esas dudas sobre el progreso se presentan también en las ciencias. Durante todo el periodo anterior al paradigma, cuando hay gran número de escuelas en competencia, las pruebas de progreso, excepto en el interior de las escuelas, son muy difíciles de encontrar. Éste es el periodo descrito en la sección II como aquel durante el cual los individuos practican la ciencia, pero donde los resultados de su empresa no se suman a la ciencia, tal y como la conocemos. Y nuevamente, durante periodos revolucionarios, cuando se encuentren en juego una vez más los principios fundamentales de un campo, se expresarán repetidamente dudas sobre la posibilidad misma de un progreso continuo si se adopta uno u otro de los paradigmas opuestos. Los que rechazaban el newtonianismo proclamaban que su dependencia de las fuerzas innatas haría regresar a la ciencia a las Edades Oscuras. Los que se oponían a la química de Lavoisier sostenían que el rechazo de los “principios” químicos en favor de los elementos de laboratorio era el rechazo de una explicación química lograda, rechazo realizado por quienes iban a refugiarse en un simple nombre. Un sentimiento similar, aunque expresado de manera más moderada, parece encontrarse en la base de la oposición de Einstein, Bohm y otros a la interpretación probabilista dominante en la mecánica cuántica. En resumen, sólo durante los periodos de ciencia normal el progreso parece ser evidente

y estar asegurado. Durante esos periodos, sin embargo, la comunidad científica no puede ver los frutos de su trabajo en ninguna otra forma.

Así pues, con respecto a la ciencia normal, parte de la respuesta al problema del progreso se encuentra simplemente en el ojo del espectador. El progreso científico no es de un tipo diferente al progreso en otros campos; pero la ausencia, durante ciertos periodos, de escuelas competidoras que se cuestionen recíprocamente propósitos y normas, hace que el progreso de una comunidad científica normal, se perciba en mayor facilidad. Esto sin embargo, es sólo parte de la respuesta y de ninguna manera la más importante. Por ejemplo, ya hemos notado que una vez que la aceptación de un paradigma común ha liberado a la comunidad científica de la necesidad de reexaminar constantemente sus primeros principios, los miembros de esa comunidad pueden concentrarse exclusivamente en los más sutiles y esotéricos de los fenómenos que le interesan. Inevitablemente, esto hace aumentar tanto el vigor como la eficiencia con que el grupo, como un todo, resuelve los problemas nuevos que se presentan. Otros aspectos de la vida profesional en las ciencias realzan todavía más esa tan especial eficiencia.

Algunos de ellos son consecuencias del aislamiento sin paralelo de las comunidades científicas maduras, respecto de las exigencias de los profanos y de la vida cotidiana. Ese aislamiento no ha sido nunca completo, estamos discutiendo ahora cuestiones de grado. Sin embargo, no hay otras comunidades profesionales en las que el trabajo creador individual esté tan exclusivamente dirigido a otros miembros de la profesión y sea evaluado por éstos. El más esotérico de los poetas o el más abstracto de los teólogos se preocupa mucho más que el científico respecto a la aprobación de su trabajo creador por los profanos, aun cuando puede estar todavía menos interesado en la aprobación en general. Esta diferencia resulta importante. Debido a que trabaja sólo para una audiencia de colegas que comparten sus propios valores y sus creencias, el científico puede dar por sentado un conjunto único de normas. No necesita preocuparse de lo que pueda pensar otro grupo o escuela y puede, por consiguiente, resolver un problema y pasar al siguiente con mayor rapidez que la de los que trabajan para un grupo más heterodoxo. Lo que es todavía más importante, el aislamiento de

la comunidad científica con respecto a la sociedad, permite que el científico individual concentre su atención en problemas sobre los que tiene buenas razones para creer que es capaz de resolver. A diferencia de los ingenieros y de muchos doctores y la mayor parte de los teólogos, el científico no necesita escoger problemas en razón de que sea urgente resolverlos y sin tomar en consideración los instrumentos disponibles para su resolución. También a ese respecto, el contraste entre los científicos naturalistas y muchos científicos sociales resulta aleccionador. Los últimos tienden a menudo, lo que los primeros casi nunca hacen, a defender su elección de un problema para investigación —p. ej. los efectos de la discriminación racial o las causas del ciclo de negocios—, principalmente en términos de la importancia social de lograr una solución. ¿De qué grupo puede esperarse entonces que resuelva sus problemas a un ritmo más rápido?

Los efectos del aislamiento respecto de la sociedad mayor se intensifican mucho por otra característica de la comunidad científica profesional, la naturaleza de su iniciación educativa. En la música, en las artes gráficas y en la literatura, el profesional obtiene su instrucción mediante la observación de los trabajos de otros artistas, principalmente artistas anteriores. Los libros de texto, excepto los compendios o los manuales de creaciones originales, sólo tienen un papel secundario. En la historia, la filosofía y las ciencias sociales, los libros de texto tienen una importancia mucho mayor. Pero incluso en esos campos, los cursos elementales de los colegios emplean lecturas paralelas en fuentes originales, algunas de ellas de los "clásicos" del campo, otras de los informes de la investigación contemporánea que los profesionales escriben unos para otros. Como resultado de ello, el estudiante de cualquiera de esas disciplinas está constantemente al tanto de la inmensa variedad de problemas que los miembros de su futuro grupo han tratado de resolver, en el transcurso del tiempo. Algo todavía más importante, es que tiene siempre ante él numerosas soluciones, inconmensurables y en competencia, para los mencionados problemas, soluciones que en última instancia tendrá que evaluar por sí mismo.

Compárese esta situación con la de las ciencias naturales contemporáneas. En estos campos, el estudiante depende principalmente de

los libros de texto hasta que, en su tercero o cuarto año de trabajo como graduado, inicia sus propias investigaciones. Muchos planes de estudio de las ciencias ni siquiera exigen a los graduados que lean obras no escritas especialmente para los estudiantes. Los pocos que asignan lecturas suplementarias en escritos de investigación y monografías, restringen tales asignaciones a los cursos más avanzados y a los materiales que, más o menos, se inician donde quedaron los libros de texto. Hasta las últimas etapas de la instrucción de un científico, los libros de texto substituyen sistemáticamente a la literatura científica creadora que los hace posibles. Teniendo en cuenta la confianza en sus paradigmas, que hace que esa técnica de enseñanza sea posible, pocos científicos desearían cambiarla. Después de todo, ¿por qué debe el estudiante de física leer, por ejemplo, las obras de Newton, Faraday, Einstein o Schrödinger, cuando todo lo que necesita saber sobre esos trabajos se encuentra recapitulado en forma mucho más breve, más precisa y más sistemática en una serie de libros de texto que se encuentran al día?

Sin desear defender los extremos excesivos a que se ha llevado a veces este tipo de educación, no podemos dejar de notar que, en general, ha sido inmensamente efectivo. Por supuesto, se trata de una educación estrecha y rígida, probablemente más que ninguna otra, exceptuando quizá la teología ortodoxa. Pero para los trabajos de ciencia normal, para la resolución de enigmas dentro de la tradición que definen, los libros de texto, el científico se encuentra casi perfectamente preparado. Además, está igualmente bien equipado para otra tarea —la generación de crisis significantes a través de la ciencia normal. Por supuesto, cuando éstas se presentan, el científico no se encontrará tan bien preparado. Aun cuando las crisis prolongadas probablemente se reflejan en prácticas menos rígidas de educación, la preparación científica no está bien diseñada para producir al hombre que pueda con facilidad descubrir un enfoque original. Pero en tanto haya alguien que se presente con un nuevo candidato a paradigma —habitualmente un hombre joven o algún novato en el campo— la pérdida debida a la rigidez corresponderá sólo al individuo. Dada una generación en la que efectuar el cambio, la rigidez individual es compatible con una comunidad que pueda pasar de un paradigma a otro cuando la ocasión lo

exija. Es particularmente compatible cuando esa misma rigidez proporciona a la comunidad un indicador sensible de que hay algo que va mal.

Así pues, en su estado normal, una comunidad científica es un instrumento inmensamente eficiente para resolver los problemas o los enigmas que define su paradigma. Además, el resultado de la resolución de esos problemas debe ser inevitablemente el progreso. En este caso no existe ningún problema. Sin embargo, el ver todo eso sólo realza la segunda parte del problema del progreso de las ciencias, la más importante. Por consiguiente, volvámonos hacia ella y hagamos la pregunta relativa al progreso por medio de la ciencia no-ordinaria. ¿Por qué es también el progreso, aparentemente, un acompañante universal de las revoluciones científicas? Una vez más, podemos aprender mucho al preguntar qué otro podría ser el resultado de una revolución. Las revoluciones concluyen con una victoria total de uno de los dos campos rivales. ¿Dirá alguna vez ese grupo que el resultado de su victoria ha sido algo inferior al progreso? Eso sería tanto como admitir que estaban equivocados y que sus oponentes estaban en lo cierto. Para ello, al menos, el resultado de la revolución debe ser el progreso y se encuentran en una magnífica posición para asegurarse de que los miembros futuros de su comunidad verán la historia pasada de la misma forma. En la Sección XI describimos detalladamente las técnicas por medio de las que se logra esto y hemos presentado nuevamente un aspecto estrechamente vinculado con la vida científica profesional. Cuando una comunidad científica repudia un paradigma anterior, renuncia, al mismo tiempo, como tema propio para el escrutinio profesional, a la mayoría de los libros y artículos en que se incluye dicho paradigma. La educación científica no utiliza ningún equivalente al museo de arte o a la biblioteca de libros clásicos y el resultado es una distorsión, a veces muy drástica, de la percepción que tiene el científico del pasado de su disciplina. Más que quienes practican en otros campos creadores, llega a ver ese pasado como una línea recta que conduce a la situación actual de la disciplina. En resumen, llega a verlo como progreso. En tanto permanece dentro del campo, no le queda ninguna alternativa.

Inevitablemente, estas observaciones sugerirán que el miembro de una comunidad científica madura es, como el personaje típico de *1984* de

Orwell, la víctima de una historia reescrita por quienes están en el poder. Esa sugestión, además, no es completamente inapropiada. En las revoluciones científicas hay tanto pérdidas como ganancias y los científicos tienen una tendencia peculiar a no ver las primeras.[13-3] Por otra parte, ninguna explicación del progreso por medio de la revolución puede detenerse en este punto. El hacerlo implicaría que, en las ciencias, el poder hace el derecho, una formulación que, nuevamente, no sería completamente errónea si no suprimiera la naturaleza del proceso y de la autoridad mediante la que se hace la elección entre los paradigmas. Si la autoridad aislada, sobre todo si se trata de una autoridad no profesional, fuera el árbitro de los debates paradigmáticos, el resultado de esos debates podría ser todavía una revolución, pero no sería una revolución *científica*. La existencia misma de la ciencia depende de que el poder de escoger entre paradigmas se delegue en los miembros de una comunidad de tipo especial. Lo especial que esta comunidad deba ser para que la ciencia sobreviva y se desarrolle, puede estar indicado en la fragilidad misma del dominio de la humanidad sobre la empresa científica. Todas las civilizaciones de las que tenemos registros han poseído una tecnología, un arte, una religión, un sistema político, leyes, etc. En muchos casos, estas facetas de la civilización han sido tan desarrolladas como las nuestras. Pero sólo las civilizaciones que descienden de la Grecia helénica poseyeron algo más que una ciencia rudimentaria. El caudal de conocimientos científicos es un producto de Europa en los últimos cuatro siglos. Ningún otro lugar o época ha contado con las comunidades tan especiales de las que procede la productividad científica.

¿Cuáles son las características esenciales de esas comunidades? Evidentemente, ello requiere un estudio mucho mayor. En esta área, sólo son posibles generalizaciones de tanteo. Sin embargo, cierto número de requisitos para pertenecer como miembro a un grupo científico profesional debe ser ya netamente claro. Por ejemplo, el científico deberá interesarse por resolver problemas sobre el comportamiento de la naturaleza. Además, aunque esta preocupación por la naturaleza pueda tener una amplitud global, los problemas sobre los que el científico trabaje deberán ser de detalle. Lo que es más importante todavía, las soluciones que le satisfagan

podrán no ser sólo personales, sino que deberán ser aceptadas por muchos como soluciones. Sin embargo, el grupo que las comparta no puede ser tomado fortuitamente de la sociedad como un todo, sino más bien de la bien definida comunidad de los colegas profesionales del científico. Una de las leyes más firmes, aun cuando no escritas, de la vida científica es la prohibición de hacer llamamientos, en asuntos científicos, a los jefes de Estado o a las poblaciones en conjunto. El reconocimiento de la existencia de un grupo profesional que sea competente de manera única en la materia y la aceptación de su papel como arbitro exclusivo en los logros profesionales tienen otras implicaciones. Los miembros del grupo, como individuos y en virtud de su preparación y la experiencia que comparten, deberán ser considerados como los únicos poseedores de las reglas del juego o de alguna base equivalente para emitir juicios inequívocos. El poner en duda que comparten esa base para las evacuaciones seria tanto como admitir la existencia de normas para la investigación científica, incompatibles. Esta admisión inevitablemente plantearía la pregunta de si la verdad en las ciencias puede ser una.

Esta pequeña lista de características comunes a las comunidades científicas ha sido sacada íntegramente de la práctica de la ciencia normal y es preciso que haya sido así. Es ésa la actividad para la que el científico es ordinariamente preparado. Nótese, sin embargo, que a pesar de su tamaño pequeño, la lista es ya suficiente para separar a esas comunidades de todos los demás grupos profesionales. Nótese también que, a pesar de que tiene su fuente en la ciencia normal, la lista explica muchas de las características especiales de la respuesta del grupo durante las revoluciones y, sobre todo, durante los debates paradigmáticos. Ya hemos observado que un grupo de ese tipo debe ver como progreso el cambio de paradigma. Ahora debemos reconocer que la percepción es autosatisfactoria en muchos aspectos. La comunidad científica es un instrumento supremamente eficiente para llevar al máximo la limitación y el número de los problemas resueltos a través del cambio de paradigma.

Ya que el problema resuelto es la unidad de la investigación científica y debido a que el grupo conoce ya qué problemas han sido resueltos, a pocos científicos se podrá convencer con facilidad para que adopten un punto de

vista que nuevamente ponga en tela de juicio muchos problemas previamente resueltos. La naturaleza misma deberá primeramente socavar la seguridad profesional, haciendo que las investigaciones anteriores parezcan problemáticas. Además, incluso cuando haya ocurrido esto y se haya presentado un nuevo candidato a paradigma, los científicos se mostrarán renuentes a adoptarlo a menos que estén convencidos de que se satisfacen dos condiciones importantes. Primeramente, el nuevo candidato deberá parecer capaz de resolver algún problema extraordinario y generalmente reconocido, que de ninguna otra forma pueda solucionarse. En segundo lugar, el nuevo paradigma deberá prometer preservar una parte relativamente grande de la habilidad concreta para la solución de problemas que la ciencia ha adquirido a través de sus paradigmas anteriores. La novedad por sí misma no es tan deseable en las ciencias como en muchos otros campos creativos. Como resultado de ello, aunque los nuevos paradigmas raramente o nunca poseen todas las capacidades de sus predecesores, habitualmente preservan una multitud de las partes más concretas de las realizaciones pasadas y permiten siempre, además, soluciones concretas y adicionales de problemas.

Todo esto no quiere decir que la capacidad para resolver problemas constituya una base única o inequívoca para la selección de un paradigma. Ya hemos hecho notar muchas razones por las que no es posible que exista un criterio de este tipo. Pero sí quiere decir que una comunidad de especialistas científicos hará todo lo que pueda para asegurar el desarrollo continuado de los datos reunidos, que ella puede tratar con precisión y de manera detallada. En el proceso, la comunidad sufrirá pérdidas. Con frecuencia, deben eliminarse ciertos problemas antiguos. Además, frecuentemente, la revolución disminuye el alcance de los intereses profesionales de la comunidad, aumenta su grado de especialización y reduce sus comunicaciones con otros grupos, tanto de científicos como de profanos. Aunque es seguro que la ciencia aumenta en profundidad, no puede crecer en el mismo grado en anchura y, si lo hace, esa amplitud se manifestará principalmente en la proliferación de especialidades científicas y no en el alcance de alguna singular especialidad aislada. Sin embargo, a pesar de esas y otras pérdidas para las comunidades individuales, la

naturaleza de tales comunidades proporciona una garantía virtual de que tanto la lista de problemas resueltos por la ciencia como la limitación de las soluciones individuales de los problemas irán aumentando cada vez más. Por lo menos, si es que es posible proporcionar tal garantía, la naturaleza de la comunidad la proporciona. ¿Qué mejor criterio puede existir que la decisión del grupo científico?

Estos últimos párrafos indican las direcciones en que creo que debe buscarse una solución más refinada para el problema del progreso de las ciencias. Quizá indiquen que el progreso científico no es completamente lo que creíamos. Pero al mismo tiempo muestran que, de manera inevitable, algún tipo de progreso debe caracterizar a las actividades científicas, en tanto dichas actividades sobrevivan. En las ciencias no es necesario que haya progreso de otra índole. Para ser más precisos, es posible que tengamos que renunciar a la noción, explícita o implícita, de que los cambios de paradigma llevan a los científicos, y a aquellos que de tales aprenden, cada vez más cerca de la verdad.

Ya es tiempo de hacer notar que hasta las páginas finales de este ensayo, no se ha incluido el término ‘verdad’ sino en una cita de Francis Bacon. E incluso en esas páginas, sólo fue incluido como una fuente de la convicción de los científicos de que para la práctica de las ciencias no pueden coexistir reglas incompatibles, excepto durante las revoluciones, cuando la tarea principal de la profesión es eliminar todos los conjuntos de reglas excepto uno. El proceso de desarrollo descrito en este ensayo ha sido un proceso de evolución *desde* los comienzos primitivos, un proceso cuyas etapas sucesivas se caracterizan por una comprensión cada vez más detallada y refinada de la naturaleza. Pero nada de lo que hemos dicho o de lo que digamos hará que sea un proceso de evolución *hacia* algo. Inevitablemente, esa laguna habrá molestado a muchos lectores. Todos estamos profundamente acostumbrados a considerar a la ciencia como la empresa que se acerca cada vez más a alguna meta establecida de antemano por la naturaleza.

Pero, ¿es preciso que exista esa meta? ¿No podemos explicar tanto la existencia de la ciencia como su éxito en términos de evolución a partir del estado de conocimientos de una comunidad en un momento dado? ¿Ayuda

realmente el imaginar que existe alguna explicación plena, objetiva y verdadera de la naturaleza y que la medida apropiada de la investigación científica es la elongación con que nos acerca cada vez más a esa meta final? Si podemos aprender a sustituir la-evolución-hacia-lo-que-deseamos-conocer por la-evolución-a-partir-de-lo-que-conocemos, muchos problemas difíciles desaparecerán en el proceso. Por ejemplo, en algún lugar de ese laberinto debe encontrarse el problema de la inducción.

No puedo especificar todavía, en forma detallada, las consecuencias de esta visión alternativa del avance científico; pero ayuda a reconocer que la trasposición conceptual que recomendamos aquí, es muy cercana a la que emprendió el Occidente hace un siglo. Es particularmente útil debido a que, en ambos casos, el obstáculo principal para la transposición es el mismo. Cuando Darwin en 1859 publicó por primera vez su teoría de la evolución por selección natural, lo que más molestó a muchos profesionales no fue la noción del cambio de las especies ni la posible descendencia del hombre a partir del mono. Las pruebas indicadoras de la evolución, incluyendo la del hombre, se habían estado acumulando durante varias décadas y la idea de la evolución había sido sugerida y se había diseminado ampliamente, antes. Aunque la evolución, como tal, encontró resistencia, particularmente por parte de ciertos grupos religiosos, no era, de ninguna manera, la mayor de las dificultades a que se enfrentaron los darwinianos. Esta dificultad surgió de una idea que era más cercana a la de Darwin. Todas las teorías conocidas sobre la evolución antes de Darwin —las de Lamarck, Chambers, Spencer y los *Naturphilosophen* alemanes— habían considerado a la evolución como un proceso dirigido hacia un fin. Se creía que la “idea” del hombre y de la flora y la fauna contemporánea había estado presente, desde la primera creación de la vida, quizá en la mente de Dios. Esta idea o plan había proporcionado la dirección y el impulso conductor, para todo el proceso de evolución. Cada nueva etapa del desarrollo evolucionario era una realización más perfeccionada de un plan que desde el principio había existido.[13-4]

Para muchos hombres, la abolición de ese tipo teleológico de evolución era la más importante y desagradable sugerencia de Darwin.[13-5] El *Origin of Species* no reconoció ninguna meta establecida por Dios o por la

naturaleza. En lugar de ello, la selección natural, operando en un medio ambiente dado y con los organismos que tenía entonces a su disposición, era responsable del surgimiento, gradual pero continuo, de organismos más complejos y articulados y mucho más especializados. Incluso órganos tan maravillosamente adaptados como el ojo y la mano del hombre —órganos cuyo diseño antes había proporcionado poderosos argumentos en pro de la existencia de un supremo artífice y de un plan previo— eran productos de un proceso que *a partir* de los comienzos primitivos progresaba continuamente pero no *hacía* una meta. La creencia de que la selección natural, resultante de la mera competencia entre organismos por la supervivencia, pudiera haber producido, junto con los animales superiores y las plantas al hombre, era el aspecto más difícil y molesto de la teoría de Darwin. ¿Qué pueden significar 'evolución', 'desarrollo' y 'progreso' a falta de una meta específica? A muchas personas esos términos les parecieron repentinamente auto-contradictorios.

La analogía que relaciona la evolución de los organismos con la de las ideas científicas puede con facilidad llevarse demasiado lejos. Pero en lo que respecta a los problemas de esta última sección del ensayo es casi perfecta. El proceso descrito como la resolución de las revoluciones en la sección XII constituye, dentro de la comunidad científica, la selección, a través de la pugna, del mejor camino para la práctica de la ciencia futura. El resultado neto de una secuencia de tales selecciones revolucionarias, separado por periodos de investigación normal, es el conjunto de documentos, maravillosamente adaptado, que denominamos conocimiento científico moderno. Las etapas sucesivas en ese proceso de desarrollo se caracterizan por un aumento en la articulación y la especialización. Y todo el proceso pudo tener lugar, como suponemos actualmente que ocurrió la evolución biológica, sin el beneficio de una meta establecida, de una verdad científica fija y permanente, de la que cada etapa del desarrollo de los conocimientos científicos fuera un mejor ejemplo.

Todo aquel que haya seguido hasta aquí la argumentación sentirá, no obstante, la necesidad de preguntar por qué debe funcionar el proceso evolucionado. ¿Qué debe ser la naturaleza, incluyendo al hombre, para que la ciencia sea posible? ¿Por qué deben ser capaces las comunidades

científicas de llegar a un consenso firme, inalcanzable en otros campos? ¿Por qué después de los diferentes cambios de paradigmas debe durar ese consenso? ¿Y por qué el cambio de paradigma produce, invariablemente, un instrumento más perfecto en cualquier sentido que todos los antes conocidos? Desde un punto de vista estas preguntas, exceptuando la primera, han sido contestadas ya. Pero, desde otra perspectiva, se encuentran todavía tan abiertas como cuando iniciamos este ensayo. No es sólo la comunidad científica la que debe ser especial. El mundo del que esa comunidad forma parte debe también poseer características muy especiales y no estamos más cerca al principio de saber qué deben ser. Ese problema —¿cómo debe ser el mundo para que el hombre pueda conocerlo?— no fue sin embargo, creado por este ensayo. Al contrario, es tan viejo como la ciencia misma y continúa sin respuesta. Pero no necesitamos resolverlo en este ensayo. Cualquier concepción de la naturaleza que sea compatible con el crecimiento de la ciencia por medio de pruebas, es compatible con la visión evolutiva de la ciencia que hemos desarrollado. Puesto que esa visión es compatible también con la observación atenta de la vida científica, hay argumentos poderosos en favor de su empleo, en los intentos hechos para resolver la multitud de problemas que todavía no tienen respuesta.

Posdata: 1969

HAN TRANSCURRIDO casi siete años desde la primera publicación de este libro.[pd-1] En el ínterin, tanto la respuesta de la crítica como mi propio trabajo nuevo han aumentado mi comprensión de un buen número de los asuntos en cuestión. En lo fundamental, mi punto de vista casi no ha cambiado, pero hoy reconozco aspectos de su formulación inicial que crean dificultades y equívocos gratuitos. Como algunos de esos equívocos han sido de mi propia cosecha, su eliminación me permite ganar un terreno que, a la postre, podrá constituir la base de una nueva versión del libro.[pd-2] Mientras tanto, aprovecho la oportunidad para esbozar algunas revisiones necesarias, comentar algunas críticas reiteradas y esbozar las direcciones que hoy está siguiendo mi propio pensamiento.[pd-3]

Algunas de las principales dificultades de mi texto original se centran en el concepto de un paradigma, y mi análisis empieza con ellas.[pd-4] En la subsección que sigue, haré ver lo deseable de aislar tal concepto apartándolo de la noción de una comunidad científica, indico cómo puede hacerse esto y elucido algunas consecuencias considerables de la resultante separación analítica. Después considero lo que ocurre cuando se buscan paradigmas examinando el comportamiento de los miembros de una comunidad científica *previamente determinada*. Ese procedimiento revela, al punto, que en gran parte del libro me he valido del término “paradigma” en dos sentidos distintos. Por una parte, significa toda la constelación de creencias, valores, técnicas, etc., que comparten los miembros de una comunidad dada. Por otra parte, denota una especie de elemento de tal constelación, las concretas soluciones de problemas que, empleadas como modelos o ejemplos, pueden remplazar reglas explícitas como base de la

solución de los restantes problemas de la ciencia normal. El primer sentido del término, al que podremos llamar sociológico, es el tema de la Subsección 2, más adelante; la Subsección 3 está dedicada a los paradigmas como ejemplares logros del pasado.

Al menos en el aspecto filosófico este segundo sentido de "paradigma" es el más profundo de los dos, y las afirmaciones que he hecho en su nombre son las principales causas de las controversias y equívocos que ha producido el libro, particularmente la acusación de que yo he hecho de la ciencia una empresa subjetiva e irracional. Estos temas se consideran en las Subsecciones 4 y 5. En la primera se sostiene que términos como "subjetivo" e "intuitivo" no pueden aplicarse con propiedad a los componentes del conocimiento que, según mi decisión, están tácitamente empotrados en ejemplos compartidos. Aunque tal conocimiento no está sujeto a la paráfrasis —sin cambios esenciales— por lo que respecta a reglas y cánones, sin embargo resulta sistemático, ha resistido el paso del tiempo, y en cierto sentido es corregible. La Subsección 5 aplica tal argumento al problema de elección entre dos teorías incompatibles, y pide, en breve conclusión, que quienes sostienen puntos de vista inconmensurables sean considerados como miembros de diferentes comunidades lingüísticas, y que sus problemas de comunicación sean analizados como problemas de traducción. Los asuntos restantes se analizan en las siguientes Subsecciones 6 y 7. La primera considera la acusación de que el concepto de ciencia desarrollado en este libro es integralmente relativista. La segunda comienza preguntando si mi argumento realmente adolece, como se ha dicho, de una confusión entre los modos descriptivo y normativo; concluye con unas breves observaciones sobre un tema que merece un ensayo aparte: el grado en que las principales tesis del libro pueden aplicarse legítimamente a otros campos, aparte de la ciencia.

1. *Paradigmas y estructura comunitaria*

El término "paradigma" aparece pronto en las páginas anteriores, y es, intrínsecamente, circular. Un paradigma es lo que comparten los miembros de una comunidad científica y, a la inversa una comunidad científica

consiste en unas personas que comparten un paradigma. No todas las circularidades son viciosas (defenderé más adelante, en este escrito, un argumento de estructura similar), pero ésta es causa de verdaderas dificultades. Las comunidades científicas pueden aislarse sin recurrir previamente a paradigmas; éstos pueden ser descubiertos, entonces, analizando el comportamiento de los miembros de una comunidad dada. Si estuviera reescribiendo este libro, por lo tanto, empezaría con un análisis de la estructura comunitaria de la ciencia, tema que recientemente se ha convertido en importante objeto de la investigación sociológica, y que también empiezan a tomar en serio los historiadores de la ciencia. Los resultados preliminares, muchos de ellos aún inéditos, indican que las técnicas empíricas necesarias para su exploración son no-triviales, pero algunas están en embrión y otros seguramente se desarrollarán.[pd-5] La mayoría de los científicos en funciones responden inmediatamente a las preguntas acerca de sus afiliaciones comunitarias, dando por sentado que la responsabilidad por las varias especialidades actuales está distribuida entre grupos de un número de miembros al menos generalmente determinado. Por tanto, supondré aquí que ya se encontrarán medios más sistemáticos para su identificación. En lugar de presentar los resultados de la investigación preliminar, permítaseme explicar brevemente la noción intuitiva de comunidad, subyacente en gran parte de los capítulos anteriores de este libro. Es una idea que comparten extensamente científicos, sociólogos y numerosos historiadores de la ciencia.

Según esta opinión, una comunidad científica consiste en quienes practican una especialidad científica. Hasta un grado no igualado en la mayoría de los otros ámbitos, han tenido una educación y una iniciación profesional similares. En el proceso, han absorbido la misma bibliografía técnica y sacado muchas lecciones idénticas de ella. Habitualmente los límites de esa bibliografía general constituyen las fronteras de un tema científico, y cada unidad habitualmente tiene un tema propio. En las ciencias hay escuelas, es decir, comunidades que enfocan el mismo tema desde puntos de vista incompatibles. Pero aquí son mucho más escasas que en otros campos. Siempre están en competencia, y su competencia por lo general termina pronto; como resultado, los miembros de una comunidad

científica se ven a sí mismos, y son considerados por otros como los hombres exclusivamente responsables de la investigación de todo un conjunto de objetivos comunes, que incluyen la preparación de sus propios sucesores. Dentro de tales grupos, la comunicación es casi plena, y el juicio profesional es, relativamente, unánime. Como, por otra parte, la atención de diferentes comunidades científicas enfoca diferentes problemas, la comunicación profesional entre los límites de los grupos a veces es ardua, a menudo resulta en equívocos, y de seguir adelante, puede conducir a un considerable y antes insospechado desacuerdo.

En ese sentido, las comunidades, desde luego, existen en muchos niveles. La más global es la comunidad de todos los científicos naturalistas. A un nivel apenas inferior, los principales grupos de científicos profesionales son comunidades: médicos, químicos, astrónomos, zoólogos y similares. Para estos grandes grupos, la pertenencia a una comunidad queda inmediatamente establecida, excepto en sus límites. Temas de la mayor dificultad, afiliación a las sociedades profesionales y publicaciones leídas son, por lo general, más que suficientes. Las técnicas similares también pueden aislar a los principales subgrupos: químicos orgánicos, quizás los químicos de las proteínas entre ellos, físicos especializados en transistores, radio astrónomos, etc. Sólo es en el siguiente nivel inferior donde surgen problemas empíricos. Para tomar un ejemplo contemporáneo, ¿cómo se habría podido aislar el grupo “fago”, antes de ser aclamado por el público? Con este fin se debe asistir a conferencias especiales, se debe recurrir a la distribución de manuscritos o galeras antes de su publicación y ante todo, a las redes oficiales o extraoficiales de comunicación, incluso las que hayan sido descubiertas en la correspondencia y en los nexos establecidos entre las referencias.[pd-6] Yo sostengo que esa labor puede y debe hacerse, al menos en el escenario contemporáneo, y en las partes más recientes del escenario histórico. Lo característico es que ofrezca comunidades hasta, quizá, de cien miembros, ocasionalmente bastante menos. Por lo general los científicos individuales, particularmente los más capaces, pertenecerán a varios de tales grupos, sea simultáneamente, sea en sucesión.

Las comunidades de esta índole son las unidades que este libro ha presentado como productoras y validadoras del conocimiento científico. A

veces los paradigmas son compartidos por miembros de tales grupos. Si no se hace referencia a la naturaleza de estos elementos compartidos, muchos aspectos de la ciencia descritos en las páginas anteriores difícilmente se podrán entender. Pero otros aspectos sí, aunque no hayan sido presentados independientemente en mi texto original. Por tanto, vale la pena notar, antes de volverse directamente a los paradigmas, una serie de asuntos que requieren su referencia a la estructura de la comunidad, exclusivamente.

Probablemente el más notable de éstos es lo que antes he llamado la transición del periodo pre-paradigma al post-paradigma en el desarrollo de un campo científico. Tal transición es la que fue esbozada antes, en la Sección II. Antes de que ocurra, un buen número de escuelas estarán compitiendo por el dominio de un ámbito dado. Después, en la secuela de algún notable logro científico, el número de escuelas se reduce grandemente, ordinariamente a una, y comienza entonces un modo más eficiente de práctica científica. Este último generalmente es esotérico, orientado hacia la solución de enigmas, como el trabajo de un grupo puede ser cuando sus miembros dan por sentadas las bases de su estudio.

La naturaleza de esa transición a la madurez merece un análisis más completo del que ha recibido en este libro, particularmente de aquellos interesados en el avance de las ciencias sociales contemporáneas. Con ese fin puede ser útil indicar que la transición no tiene que estar asociada (ahora creo que no debe estarlo) con la primera adquisición de un paradigma. Los miembros de todas las comunidades científicas, incluso de las escuelas del periodo “preparadigma” comparten las clases de elementos que, colectivamente, he llamado un “paradigma”. Lo que cambia con la transición a la madurez no es la presencia de un paradigma, sino, antes bien, su naturaleza. Sólo después del cambio es posible una investigación normal de la solución de enigmas. Muchos de los atributos de una ciencia desarrollada, que antes he asociado con la adquisición de un paradigma, serán considerados, por tanto, como consecuencias de la adquisición de la clase de paradigmas que identifica los enigmas más intrigantes, que aporta claves para su solución y que garantiza el triunfo del practicante verdaderamente capaz. Sólo quienes han cobrado ánimo observando que su

propio campo (o escuela) tiene paradigmas sentirán, probablemente, que el cambio sacrifica algo importante.

Un segundo asunto, más importante al menos para los historiadores, implica la identificación hecha en este libro, de las comunidades científicas, una a una, con las materias científicas. Es decir, repetidamente he actuado como si, por ejemplo, la "óptica física", la "electricidad" y el "calor" debieran señalar comunidades científicas porque designan materias de investigación. La única alternativa que mi texto ha parecido dejar consiste en que todos estos temas han pertenecido a la comunidad científica. Sin embargo, las identificaciones de tal índole no resisten un examen, como repetidas veces lo han señalado mis colegas en materia de historia. Por ejemplo, no hubo una comunidad de físicos antes de mediados del siglo XIX, y entonces fue formada por una amalgamación de partes de dos comunidades antes separadas: las matemáticas y la filosofía natural *(physique experiméntale)*. Lo que hoy es materia para una sola extensa comunidad ha estado distribuido de varios modos, en el pasado, entre diversas comunidades. Otros temas de estudio más reducidos, por ejemplo el calor y la teoría de la materia, han existido durante largos periodos sin llegar a convertirse en campo exclusivo de ninguna comunidad científica en especial. Sin embargo, tanto la ciencia normal como las revoluciones son actividades basadas en comunidades. Para descubrirlas y analizarlas es preciso desentrañar la cambiante estructura de las ciencias con el paso del tiempo. En primer lugar, un paradigma no gobierna un tema de estudio, sino, antes bien, un grupo de practicantes. Todo estudio de una investigación dirigida a los paradigmas o a destruir paradigmas debe comenzar por localizar al grupo o los grupos responsables.

Cuando se enfoca de este modo el análisis del desarrollo científico, es probable que se desvanezcan algunas dificultades que habían sido focos de la atención de los críticos. Por ejemplo, un gran número de comentadores se han valido de la teoría de la materia para indicar que yo exageré radicalmente la unanimidad de los científicos en su fe en un paradigma. Hasta hace poco, señalan, esas teorías habían sido materia de continuo desacuerdo y debate. Yo convengo con la descripción, pero no creo que sea un ejemplo de lo contrario. Al menos hasta 1920, las teorías de la materia

no fueron dominio especial ni objeto de estudio de ninguna comunidad científica. En cambio, fueron útiles de un buen número de grupos de especialistas. Los miembros de diferentes comunidades científicas a veces escogen útiles distintos y critican la elección hecha por otros. Algo aún más importante: una teoría de la materia no es la clase de tema en que los miembros siquiera de una sola comunidad necesariamente deben convenir. La necesidad de un acuerdo depende de lo que hace la comunidad. La química de la primera mitad del siglo XIX resulta un caso oportuno. Aunque varios de los útiles fundamentales de la comunidad —proporción constante, proporción múltiple y pesos combinados— se han vuelto del dominio público como resultado de la teoría atómica de Dalton, era absolutamente posible que los químicos, ante el hecho consumado, basaran su labor en aquellos útiles y expresaran su desacuerdo, a veces con vehemencia, con respecto a la existencia de los átomos.

Creo que de la misma manera podrán disiparse algunas otras dificultades y equívocos. En parte a causa de los ejemplos que he escogido y en parte a causa de mi vaguedad con respecto a la naturaleza y las proporciones de las comunidades en cuestión, unos cuantos lectores de este libro han concluido que mi interés se basa fundamental y exclusivamente en las grandes revoluciones, como las que suelen asociarse a los nombres de Copérnico, Newton, Darwin o Einstein. Sin embargo, yo creo que una delineación más clara de la estructura comunitaria ayudaría a iluminar la impresión bastante distinta que yo he querido crear. Para mí, una revolución es una clase especial de cambio, que abarca cierta índole de reconstrucción de los compromisos de cada grupo. Pero no tiene que ser un gran cambio, ni siquiera parecer un cambio revolucionario a quienes se hallen fuera de una comunidad determinada, que acaso no consista más que en unas veinticinco personas. Y simplemente porque este tipo de cambio, poco reconocido o analizado en la bibliografía de la filosofía de la ciencia, ocurre tan regularmente en esta escala menor, es tan urgente comprender el cambio revolucionario, en contraste con el acumulativo.

Una última alteración, íntimamente relacionada con la anterior, puede ayudarnos a hacer más fácil esa comprensión. Un buen número de críticos han dudado de que una crisis, la observación común de que algo anda mal,

preceda tan invariablemente las revoluciones como yo lo he dicho, implícitamente, en mi texto original. Sin embargo, nada de importancia en mi argumento depende de que las crisis sean un requisito absoluto para la revolución. Tan solo necesitan ser el preludio habitual, que aporte, por decirlo así, un mecanismo de auto-corrección que asegure que la rigidez de la ciencia normal no siga indefinidamente sin ser puesta en duda. También pueden inducirse de otras maneras las revoluciones, aunque creo que ello ocurra raras veces. Además, deseo señalar ahora lo que ha quedado oscurecido antes por falta de un adecuado análisis de la estructura comunitaria: las crisis no tienen que ser generadas por la labor de la comunidad que las experimenta y que a veces, como resultado, pasa por una revolución. Nuevos instrumentos como el microscopio electrónico o leyes nuevas como la de Maxwell pueden desarrollarse en una especialidad, y su asimilación puede crear crisis en otras.

2. *Los paradigmas como constelación de compromisos del grupo*

Volvámonos ahora a los paradigmas y preguntemos que pueden ser. Mi texto original no deja ninguna cuestión más oscura o más importante. Un lector partidario de mis ideas, quien comparte mi convicción de que “paradigma” indica los elementos filosóficos centrales del libro, ha preparado un índice analítico parcial, y ha concluido que el término ha sido aplicado al menos de veintidós modos distintos.[pd-7] Creo ahora que la mayor parte de esas diferencias se deben a incongruencias de estilo (por ejemplo, las leyes de Newton a veces son un paradigma, a veces partes de un paradigma y a veces son paradigmáticas), y pueden ser eliminadas con relativa facilidad. Pero, una vez hecha tal labor de corrección, aún quedarían dos usos muy distintos del término, que requieren una completa separación. El uso más global es el tema de esta subsección; el otro será considerado en la siguiente.

Habiendo aislado una particular comunidad de especialistas mediante técnicas como las que acabamos de analizar, resultaría útil plantearse la siguiente pregunta: ¿qué comparten sus miembros que explique la relativa plenitud de su comunicación profesional y la relativa unanimidad de sus

juicios profesionales? A esta pregunta mi texto original responde: un paradigma o conjunto de paradigmas. Pero para el caso, a diferencia del que hemos visto antes, el término resulta inapropiado. Los propios científicos dirían que comparten una teoría o conjunto de teorías, y yo quedaré satisfecho si el término, a fin de cuentas, puede volver a aplicarse para ese uso. Sin embargo, tal como se emplea en la filosofía de la ciencia el término "teoría", da a entender una estructura mucho más limitada en naturaleza y dimensiones de la que requerimos aquí. Mientras el término no quede libre de sus actuales implicaciones, resultará útil adoptar otro, para evitar confusiones. Para nuestros propósitos presentes sugiero "matriz disciplinaria": "disciplinaria" porque se refiere a la posesión común de quienes practican una disciplina particular; "matriz" porque está compuesta por elementos ordenados de varias índoles, cada uno de los cuales requiere una ulterior especificación. Todos o la mayor parte de los objetos de los compromisos de grupo que en mi texto original resultan paradigmas o partes de paradigmas, o paradigmáticos, son partes constituyentes de la matriz disciplinaria, y como tales forman un todo y funcionan en conjunto.

No obstante lo anterior, no se les debe analizar como si fueran todos de una sola pieza. No intentaré esbozar una lista completa, pero haré notar cuáles son las principales clases de componentes de una matriz disciplinaria y aclararé así tanto la naturaleza de mi actual enfoque, lo que nos preparará, simultáneamente, para mi siguiente argumento importante.

Una clase importante de componente al que llamaré "generalizaciones simbólicas", teniendo en mente tales expresiones, desplegadas sin duda ni disensión por unos miembros del grupo, fácilmente puede presentarse en una forma lógica como (x) (y) (z) (x, y, z). Tales son los componentes formales, o fácilmente formalizables, de la matriz disciplinaria. En algunas ocasiones ya se les encuentra en una forma simbólica: $f = ma$ o $I = V/R$. Otras habitualmente se expresan en palabras: "los elementos se combinan en proporción constante por el peso" o "acción igual reacción". De no ser por la aceptación general de expresiones como éstas, no habría puntos en que los miembros del grupo pudieran basar las poderosas técnicas de la manipulación lógica y matemática en su empresa de solución de problemas. Aunque el ejemplo de la taxonomía parece indicar que la ciencia normal

puede proceder con pocas expresiones semejantes, el poder de una ciencia, generalmente, parece aumentar con el número de generalizaciones simbólicas que tienen a su disposición quienes la practican.

Estas generalizaciones parecen leyes de la naturaleza, pero para los miembros del grupo, su función, a menudo, no es tan sólo ésa. Es a veces, por ejemplo, la Ley de Joule-Lenz, $H = RI^2$. Cuando se descubrió esa ley, los miembros de la comunidad ya sabían lo que representaban *H*, *R* e *I*; estas generalizaciones simplemente les enseñaban algo acerca de cómo proceden el calor, la corriente y la resistencia, algo que no habían sabido antes. Pero más a menudo, como lo indica un análisis anterior de este mismo libro, las generalizaciones simbólicas, simultáneamente, sirven a una segunda función, que habitualmente es claramente separada en los análisis de los filósofos de la ciencia. Así, $f = ma$, o $I = V/R$, funcionan en parte como leyes, pero también en parte como definiciones de algunos de los símbolos que muestran. A mayor abundamiento, el equilibrio entre su inseparable fuerza legislativa y definidora cambia con el tiempo. En otro contexto, estos argumentos valdrían la pena de hacer un análisis detallado, pues la naturaleza del compromiso con una ley es muy distinta de la del compromiso con una definición. A menudo las leyes pueden corregirse parte por parte, pero las definiciones, al ser tautologías, no se pueden corregir. Por ejemplo, una parte de lo que exigía la aceptación de la Ley de Ohm era una redefinición tanto de “corriente” como de “resistencia”; si tales términos hubieran seguido significando lo que antes significaban, la Ley de Ohm no habría podido ser cierta; tal es la razón por la que encontró una oposición tan enconada, a diferencia de la Ley de Joule-Lenz.[pd-8] Probablemente tal situación es característica. Ahora yo sospecho que todas las revoluciones, entre otras cosas, implican el abandono de generalizaciones cuya fuerza, previamente, había sido la fuerza de las tautologías. ¿Demostró Einstein que la simultaneidad era relativa, o bien alteró la propia noción de simultaneidad? ¿Simplemente estaban equivocados quienes encontraron una paradoja en la frase “relatividad de la simultaneidad”?

Consideremos ahora un segundo tipo de componente de la matriz disciplinaria, componente acerca del cual se ha dicho ya bastante en mi

texto original, bajo títulos como el de “paradigma metafísico” o “las partes metafísicas de los paradigmas”. Estoy pensando en compromisos compartidos con creencias tales como: el calor es la energía cinética de las partes constituyentes de los cuerpos; todos los fenómenos perceptibles se deben a la interacción de átomos cualitativamente neutrales en el vacío o bien, en cambio, a la materia y la fuerza, o a los campos. Al reescribir el libro describiría yo ahora tales compromisos como creencias en modelos particulares, y extendería los modelos de categorías para que también incluyeran una variedad relativamente heurística: el circuito eléctrico puede ser considerado como un sistema hidrodinámico de estado estacionario; las moléculas de un gas actúan como minúsculas bolas de billar, elásticas, en un movimiento producido al azar. Aunque varía la fuerza de los compromisos del grupo, con consecuencias no triviales, a lo largo del espectro de los modelos heurístico a ontológico, sin embargo todos los modelos tienen funciones similares. Entre otras cosas, dan al grupo sus analogías y metáforas preferidas o permisibles. Y al hacer esto ayudan a determinar lo que será aceptado como explicación y como solución de problemas; a la inversa, ayudan en la determinación de la lista de enigmas no resueltos y en la evaluación de la importancia de cada uno. Sin embargo, obsérvese que los miembros de las comunidades científicas acaso no compartan ni siquiera los modelos heurísticos, aunque habitualmente sí lo hacen. Ya he indicado que durante la primera parte del siglo XIX se podía pertenecer a la comunidad de los químicos sin creer por ello, necesariamente, en los átomos.

Ahora describiré aquí como valores a una tercera clase de elementos de la matriz disciplinaria. Habitualmente se les comparte entre diferentes comunidades, más generalmente que las generalizaciones simbólicas o los modelos, y hacen mucho para dar un sentido de comunidad a los científicos naturalistas en conjunto. Aunque funcionan en todo momento, su importancia particular surge cuando los miembros de una comunidad particular deben identificar una crisis o, después, escoger entre formas incompatibles de practicar su disciplina. Probablemente los valores más profundamente sostenidos se refieren a las predicciones: deben ser exactas; las predicciones cuantitativas son preferibles a las cualitativas; sea cual

fuere el margen de error admisible, debe ser continuamente respetado en un campo determinado, y así por el estilo. Sin embargo, también hay valores que deben aplicarse al juzgar teorías enteras: antes que nada, deben permitir la formulación y solución de enigmas; cuando sea posible deben ser sencillas, coherentes y probables, es decir, compatibles con otras teorías habitualmente sostenidas. (Considero ahora como una flaqueza de mi texto original el haber prestado poca atención a valores tales como la coherencia interna y externa al considerar las causas de crisis y factores de elección de teorías). También existen otras clases de valores, por ejemplo, la ciencia debe ser (o no tiene que serlo necesariamente) útil para la sociedad, pero lo anterior indica aquello que tengo en mente.

Sin embargo, un aspecto de los valores compartidos requiere en este punto una mención particular. En un grado más considerable que otras clases de componentes de la matriz disciplinaria, los valores deben ser compartidos por personas que difieren en su aplicación. Los juicios de precisión y exactitud son relativamente estables, aunque no enteramente, de una vez a otra y de un miembro a otro en un grupo particular. Pero los juicios de sencillez, coherencia, probabilidad y similares a menudo varían grandemente de individuo a individuo. Lo que para Einstein resultaba una incoherencia insoportable en la antigua teoría de los *quanta*, incoherencia tal que hacía imposible la investigación de una ciencia normal, fue para Bohr y para otros sólo una dificultad que, por los medios normales, podía resolverse. Algo más importante aún: en aquellas situaciones en que hay que aplicar valores, los diferentes valores, tomados por separado, a menudo obligarán a hacer diferentes elecciones. Una teoría puede resultar más precisa pero menos coherente o probable que otra; asimismo, la antigua teoría de los *quanta* nos ofrece un ejemplo. En suma, aunque los valores sean generalmente compartidos por los hombres de ciencia y aunque el compromiso con ellos sea a la vez profundo y constitutivo de la ciencia, la aplicación dé valores a menudo se ve considerablemente afectada por los rasgos de la personalidad individual que diferencia a los miembros del grupo.

Para muchos lectores de los anteriores capítulos, esta característica de la operación de los valores compartidos ha parecido una considerable flaqueza

de la posición que he adoptado. Como insisto en que aquello que comparten los hombres de ciencia no es suficiente para imponer un acuerdo uniforme acerca de cuestiones tales como la opción entre teorías competitivas o la distinción entre una anomalía ordinaria y otra que provoca crisis, ocasionalmente se me ha acusado de glorificar la subjetividad y aun la irracionalidad[pd-9]. Pero tal reacción ha pasado por alto dos características que muestran los juicios de valor en cualquier campo. En primer lugar, los valores compartidos pueden ser importantes y determinantes del comportamiento del grupo, aun cuando los miembros del grupo no los apliquen todos de la misma manera. (Si tal no fuera el caso, no habría *especiales* problemas filosóficos acerca de la teoría del valor o la estética). No todos los hombres pintaron de la misma manera durante los periodos en que la representación era un valor primario, pero la pauta de desarrollo de las artes plásticas cambió radicalmente al ser abandonado tal valor.[pd-10] Imagínese lo que ocurriría en las ciencias si la coherencia dejase de ser un valor fundamental. En segundo lugar, la variabilidad individual en la aplicación de los valores compartidos puede servir a funciones esenciales para la ciencia. Los puntos en que deben aplicarse los valores son invariablemente aquellos en que deben correrse riesgos. La mayor parte de las anomalías se resuelve por medios normales; la mayoría de las proposiciones de nuevas teorías resultan erróneas. Si todos los miembros de una comunidad respondiesen a cada anomalía como causa de crisis o abrazaran cada nueva teoría propuesta por un colega, la ciencia dejaría de existir. En cambio, si nadie reaccionara a las anomalías o a las flamantes teorías de tal manera que se corrieran grandes riesgos, habría pocas o ninguna revoluciones. En asuntos como estos el recurrir a los valores compartidos, antes que a las reglas compartidas que gobiernan la elección individual, puede ser el medio del que se vale la comunidad para distribuir los riesgos y asegurar, a la larga, el éxito de su empresa.

Volvámonos ahora a una cuarta especie de elemento de la matriz disciplinaria, no la única restante, pero sí la última que analizaré aquí. Para ella resultaría perfectamente apropiado el término “paradigma”, tanto en lo filológico como en lo autobiográfico; se trata del componente de los compromisos compartidos por un grupo, que inicialmente me llevaron a

elegir tal palabra. Sin embargo, como el término ha cobrado una vida propia, lo sustituiré aquí por "ejemplares". Con él quiero decir, inicialmente, las concretas soluciones de problemas que los estudiantes encuentran desde el principio de su educación científica, sea en los laboratorios, en los exámenes, o al final de los capítulos de los textos de ciencia. Sin embargo, a estos ejemplos compartidos deben añadirse al menos algunas de las soluciones de problemas técnicos que hay en la bibliografía periódica que los hombres de ciencia encuentran durante su carrera de investigación post-estudiantil, y que también les enseñan, mediante el ejemplo, cómo deben realizar su tarea. Más que otras clases de componentes de la matriz disciplinaria, las diferencias entre conjuntos de ejemplares dan a la comunidad una finísima estructura de la ciencia. Por ejemplo, todos los físicos empiezan aprendiendo los mismos ejemplares: problemas tales como el plano inclinado, el péndulo cónico y las órbitas keplerianas, instrumentos como el vernier, el calorímetro y el puente de Wheatstone. Sin embargo, al avanzar su preparación, las generalizaciones simbólicas que comparten se ven ilustradas cada vez más a menudo por diferentes ejemplares. Aunque tanto los físicos especializados en transistores como los físicos teóricos de un campo comparten y aceptan la ecuación de Schrödinger, tan solo sus aplicaciones más elementales son comunes a ambos grupos.

3. *Los paradigmas como ejemplos compartidos*

El paradigma como ejemplo compartido es el elemento central de lo que hoy considera como el aspecto más novedoso y menos comprendido de este libro. Por lo tanto, sus ejemplares requieren más atención que las otras clases de componentes de la matriz disciplinaria. Los filósofos de la ciencia habitualmente no han elucidado los problemas que encuentra el estudiante en los laboratorios o en los textos de ciencia, pues se supone que éstos tan solo aportan una práctica en la aplicación de aquello que ya sabe el estudiante. Se dice que no puede resolver problemas a menos que ya conozca la teoría y algunas reglas para su aplicación. El conocimiento científico se halla como empotrado en la teoría y la regla; se ofrecen

problemas para darle facilidad a su aplicación. Sin embargo, yo he tratado de sostener que esta localización del conocimiento cognoscitivo de la ciencia es un error. Después que el estudiante ha resuelto muchos problemas, tan solo podrá lograr más facilidad si resuelve más aún. Pero al principio y durante cierto tiempo, resolver problemas es aprender cosas consecutivas acerca de la naturaleza. A falta de tales ejemplares, las leyes y teorías que previamente haya aprendido tendrán muy escaso contenido empírico.

Para indicar lo que tengo en mente volveré por un momento a las generalizaciones simbólicas. Un ejemplo muy extensamente compartido es la Segunda Ley del Movimiento, de Newton, generalmente escrita como $f = ma$. Los sociólogos, por ejemplo, o los lingüistas que descubren que la expresión correspondiente ha sido proferida y recibida sin problemas por los miembros de una comunidad dada, no habrán aprendido mucho, sin gran investigación adicional, acerca de lo que significa la expresión o los términos que la forman, acerca de cómo los científicos de la comunidad relacionan la expresión con la naturaleza. En realidad, el hecho de que la acepten sin ponerla en tela de duda y que la utilicen en un punto en el cual introducen la manipulación lógica y matemática, no implica por sí mismo que todos convengan en cosas tales como significado y aplicación. Desde luego, convienen hasta un grado considerable, o el hecho rápidamente saldría a la luz a partir de sus subsiguientes conversaciones. Pero bien podemos preguntar en qué punto y por qué medio han llegado a ello. ¿Cómo han aprendido, ante una situación experimental dada, a escoger las fuerzas, masas y aceleraciones pertinentes?

En la práctica, aunque este aspecto de la situación pocas veces o nunca se nota, lo que los estudiantes tienen que aprender es aún más complejo que todo eso. No es exactamente que la manipulación lógica y matemática se aplique directamente a $f = ma$. Una vez, examinada, la expresión resulta un esbozo de ley o un esquema de ley. Cuando el estudiante o el científico practicante pasa de una situación problemática a la siguiente, cambia la generalización simbólica a la que se aplican tales manipulaciones. Para el caso de la caída libre, $f = ma$ se convierte en

$$mg = m\frac{d^2s}{dt^2};$$

para el péndulo simple se transforma en

$$mg \operatorname{sen}\theta = -ml\frac{d^2\theta}{dt^2};$$

para una pareja de osciladores armónicos que actúan uno sobre otro se convierte en dos ecuaciones, la primera de las cuales puede escribirse así:

$$m_1\frac{d^2s_1}{dt^2} + k_1s_1 = k_2(s_2 - s_1 + d);$$

y para situaciones más complejas, tales como las del giróscopo, toma otras formas, cuyo parecido familiar con $f = ma$ es todavía más difícil de descubrir. Sin embargo, mientras aprende a identificar fuerzas, masas y aceleraciones en toda una variedad de situaciones físicas nunca antes encontradas, el estudiante también ha aprendido a diseñar la versión adecuada de $f = ma$ a través de la cual puede interrelacionarlas, y a menudo una versión para la cual nunca ha encontrado un equivalente literal. ¿Cómo ha aprendido a hacer todo esto?

Un fenómeno conocido tanto de los estudiantes de la ciencia como de sus historiadores nos ofrece una clave. Los primeros habitualmente informan que han seguido de punta a cabo un capítulo de su texto, que lo han comprendido a la perfección, pero que sin embargo tienen dificultades para resolver muchos de los problemas colocados al final del capítulo. Por lo general, asimismo, estas dificultades se disuelven de la misma manera. Con o sin ayuda de su instructor, el estudiante, descubre una manera de ver su problema, *como* un problema que ya había encontrado antes. Una vez captada la similitud, percibida la analogía entre dos o más problemas distintos, puede interrelacionar símbolos y relacionarlos con la naturaleza de las maneras que ya han resultado efectivas antes. El esbozo de ley, como por ejemplo $f = ma$, ha funcionado como instrumento, informando al

estudiante de las similitudes que debe buscar, mostrándole la *Gestalt* en que puede verse la situación. La resultante capacidad para percibir toda una variedad de situaciones como similares, como sujeto para $f = ma$ o para alguna otra generalización simbólica es, en mi opinión, lo principal que adquiere un estudiante al resolver problemas ejemplares, sea con papel y lápiz o en un laboratorio bien provisto. Después de completar un cierto número, que puede variar extensamente de un individuo al siguiente, contempla la situación a la que se enfrenta como un científico en la misma *Gestalt* que otros miembros de su grupo de especialistas. Para él ya no son las mismas situaciones que había encontrado al comenzar su preparación. En el ínterin ha asimilado una manera de ver las cosas, comprobada por el tiempo y sancionada por su grupo.

El papel de las relaciones de similitud adquiridas también se muestra claramente en la historia de las ciencias. Los científicos resuelven los enigmas modelándolos sobre anteriores soluciones de enigmas, a menudo recurriendo apenas a las generalizaciones simbólicas. Galileo descubrió que una bola que rueda por una pendiente adquiere la velocidad exactamente necesaria para volver a la misma altura vertical en una segunda pendiente de cualquier cuesta, y aprendió a ver tal situación experimental como el péndulo con una masa puntual como lenteja. Huyghens resolvió entonces el problema de la oscilación de un péndulo físico imaginando que el cuerpo extendido de este último se componía de unos péndulos puntuales galileicos, y que los nexos entre ambos podían soltarse instantáneamente en cualquier punto de su vaivén. Una vez sueltos los vínculos, podrían balancearse libremente los péndulos puntuales, pero su colectivo centro de gravedad cuando cada uno llegara a su punto más alto, como el del péndulo de Galileo, tan sólo subiría a la altura desde la cual había empezado a caer el centro de gravedad del péndulo extendido. Finalmente, Daniel Bernoulli descubrió cómo hacer que el flujo de agua que pasa por un orificio se pareciera al péndulo de Huyghens. Determínese el descenso del centro de gravedad del agua que hay en el tanque y del chorro durante un infinitesimal intervalo de tiempo. Luego imagínese que cada partícula de agua después avanza separadamente, hacia arriba, hasta la máxima altura alcanzable con la velocidad adquirida durante el intervalo. El ascenso del

centro de gravedad de las partículas individuales entonces debe equipararse con el descenso del centro de gravedad del agua que hay en el tanque y el chorro. Desde tal punto, la tan largamente buscada velocidad del efluvio apareció inmediatamente.[pd-11] Este ejemplo debe empezar a poner en claro lo que quiero decir con aprender a partir de los problemas, a ver situaciones romo similares, como sujetas a la aplicación de la *misma* ley o esbozo de ley científica. Simultáneamente, debe mostrar por qué me refiero al conocimiento consecuencial de la naturaleza, adquirido mientras se aprendía la relación de similitud y, después, incorporado a una forma de ver las situaciones físicas, que no en reglas o leyes. Los tres problemas del ejemplo, todos ellos ejemplares para los mecánicos del siglo XVIII, muestran tan solo una ley de la naturaleza. Conocida como el Principio de *vis viva*, habitualmente se planteaba como "descenso real igual a ascenso potencial". La aplicación hecha por Bernoulli de tal ley debe mostrarnos cuán consecuencial era. Y sin embargo, el planteamiento verbal de la ley, en sí mismo, es virtualmente impotente. Preséntesele a un actual estudiante de física, que conozca las palabras y que puede resolver todos sus problemas, pero que hoy se vale de medios distintos. Luego imagínese lo que las palabras, aunque bien conocidas, pueden haber dicho a un hombre que no conociera siquiera los problemas. Para él la generalización podía empezar a funcionar tan solo cuando aprendiera a reconocer los "descensos reales" y los "ascensos potenciales" como ingredientes de la naturaleza, y ello ya es aprender algo, anterior a la ley, acerca de las situaciones que la naturaleza presenta y no presenta. Tal suerte de aprendizaje no se adquiere exclusivamente por medios verbales; antes bien, surge cuando se unen las palabras con los ejemplos concretos de cómo funcionan en su uso; naturaleza y palabra se aprenden al unísono. Utilizando una vez más una útil frase de Michael Polanyi, lo que resulta de este proceso es un "conocimiento tácito" que se obtiene practicando la ciencia, no adquiriendo reglas para practicarla.

4. *Conocimiento tácito e intuición*

Tal referencia al conocimiento tácito y el consecuente rechazo de las reglas ponen en relieve otro problema que ha interesado a muchos de mis críticos y que pareció aportar una base para acusarme de subjetividad e irracionalidad. Algunos lectores han considerado que yo estaba tratando de hacer que la ciencia se basara en intuiciones individuales inanalizables, antes que en la ley y en la lógica. Pero tal interpretación resulta desviada en dos aspectos esenciales. En primer lugar, si estoy hablando siquiera acerca de intuiciones, no son individuales. Antes bien, son las posesiones, probadas y compartidas, de los miembros de un grupo que han logrado éxito, y el practicante bisoño las adquiere mediante su preparación, como parte de su aprendizaje para llegar a pertenecer a un grupo. En segundo lugar, en principio no son inanalizables. Por el contrario, actualmente estoy experimentando con un programa de computadoras destinado a investigar sus propiedades a un nivel elemental. Acerca de tal programa no tengo nada que decir aquí,[pd-12] pero hasta una mención de él debe probar mi punto más esencial. Cuando hablo de un conocimiento incorporado a unos ejemplos compartidos, no estoy refiriéndome a un modo de conocimiento que sea menos sistemático o menos analizable que el conocimiento incorporado a las reglas, leyes o normas de la ejemplificación. En cambio, tengo en mente un modo de conocer deficientemente construido, aunque haya sido reconstruido de acuerdo con las reglas tomadas de ejemplares, y que después han funcionado en lugar de estos. O, para decir la misma cosa de otro modo, cuando hablo de adquirir de unos paradigmas la capacidad de reconocer una situación dada como parecida o no parecida a otras antes vistas, no estoy indicando un progreso que no sea, potencialmente, del todo explicable en términos del mecanismo neuro-cerebral. En cambio, estoy afirmando que la explicación, por su naturaleza, no responderá a la pregunta “¿similar con respecto a qué?” Tal pregunta es una petición de una regla, en este caso de unas normas por las cuales unas situaciones particulares se agrupen en conjuntos de similitud, y estoy afirmando que la tentación de buscar normas (o al menos un conjunto completo) debe resistirse en este caso. Sin embargo, no es al sistema al que me estoy oponiendo, sino a una clase particular de sistema.

Para dar más sustancia a mi argumento, tendrá que hacer una breve digresión. Lo que sigue me parece obvio en la actualidad, pero el constante recurrir en mi texto original a frases como “el mundo cambia” parece indicar que no siempre fue así. Si dos personas se encuentran en el mismo lugar y miran en la misma dirección, debemos, bajo pena de caer en un solipsismo, concluir, que reciben unos estímulos muy similares. (Si ambos pudieran fijar su mirada en el mismo lugar, los estímulos serían idénticos). Pero la gente no ve estímulos; nuestro conocimiento de éstos es sumamente teórico y abstracto. En cambio, tienen sensaciones, y nada nos obliga a suponer que las sensaciones de nuestras dos personas sean las mismas. (Los escépticos acaso recordarán que la ceguera al color nunca fue advertida hasta que John Dalton la describió en 1794). Por el contrario, muchos procesos neurales ocurren entre la recepción de un estímulo y la conciencia de una sensación. Entre las otras cosas que sabemos con seguridad acerca de ello están: que muy diferentes estímulos pueden producir las mismas sensaciones; que el mismo estímulo puede producir muy distintas sensaciones, y, finalmente que el camino del estímulo a la sensación está condicionado, en parte, por la educación. Individuos educados en distintas sociedades se comportan en algunas ocasiones como si vieran diferentes cosas. Si no tuviéramos la tentación de identificar los estímulos, uno a uno, con las sensaciones, podríamos reconocer que en realidad hacen eso.

Nótese ahora que dos grupos, cuyos miembros tienen sensaciones sistemáticamente distintas al recibir los mismos estímulos, en *cierto sentido* viven en diferentes mundos. Suponemos la existencia de los estímulos para explicar nuestras percepciones del mundo y suponemos su inmutabilidad para evitar el solipsismo, tanto individual como social. No tengo la menor reserva ante ninguna de las dos suposiciones. Pero nuestro mundo está poblado, en primer lugar, no por estímulos, sino por los objetos de nuestras sensaciones, y éstos no tienen que ser los mismos, de un individuo a otro, o de un grupo a otro. Por supuesto, hasta el grado en que los individuos pertenecen al mismo grupo y comparten así educación, idioma, experiencias y cultura, tenemos buenas razones para suponer que sus sensaciones son las mismas. ¿De qué otro modo deberíamos comprender la plenitud de su comunicación y lo común de sus respuestas conductistas a su medio? Deben

de ver cosas, estímulos de procesos, de manera muy parecida. Pero donde empiezan las diferenciaciones y la especialización de los grupos, ya no tenemos una prueba similar de la inmutabilidad de las sensaciones. Sospecho que un mero provincianismo nos hace suponer que el camino de los estímulos a la sensación es el mismo para los miembros de todos los grupos.

Si volvemos ahora a los ejemplares y reglas, lo que he estado tratando de decir, por muy provisional que haya sido mi manera de hacerlo, es esto: una de las técnicas fundamentales por las que los miembros de un grupo, ya sea toda una cultura o una subcomunidad de especialistas dentro de ella, aprenden a ver las mismas cosas cuando se encuentran ante los mismos estímulos, es al verse ante ejemplos de situaciones que sus predecesores en el mismo grupo ya habían aprendido a ver como similares y como diferentes de otras especies de situaciones. Estas situaciones similares pueden ser sucesivas presentaciones sensorias del mismo individuo, digamos de una madre, básicamente reconocida de vista como lo que es, y como diferente del padre o de la hermana. Pueden ser presentaciones de los miembros de familias naturales, digamos de cisnes por una parte y de gansos por la otra. O bien, para los miembros de grupos más especializados, pueden ser ejemplos de la situación newtoniana, o de sus situaciones; es decir, que todos son similares ya que están sujetos a una versión de la forma simbólica $f = ma$ y que son distintos de las situaciones a las que, por ejemplo, se aplican los proyectos de ley de la óptica.

Admitamos por el momento que pueda ocurrir algo de esta índole. ¿Debemos decir que lo que se ha adquirido de unos ejemplares son las reglas y la capacidad de aplicarlas? Esta descripción es tentadora porque el hecho de que veamos una situación como parecida a las que hemos encontrado antes tiene que ser el resultado de un procesamiento neural, gobernado absolutamente por leyes físicas y químicas. En este sentido, en cuanto hemos aprendido a hacerlo, el reconocimiento de la similitud debe ser tan totalmente sistemático como el latir de nuestros corazones. Pero ese paralelo mismo nos sugiere que el reconocimiento también puede ser involuntario, un proceso sobre el cual no tenemos ningún dominio. Si es así, entonces no debemos concebirlo propiamente como algo que logramos

mediante la aplicación de reglas y normas. Hablar de él en estos términos implica que tenemos acceso a opciones; por ejemplo, acaso hayamos desobedecido una regla, o aplicado mal una norma, experimentado con otra forma de ver.[pd-13] Ésas, lo acepto, son las clases de cosas que no podemos hacer. O, más precisamente, son cosas tales que no podemos hacer hasta que hayamos tenido una sensación, que hayamos percibido algo; entonces a menudo buscamos normas y las ponemos en uso. Entonces podemos embarcarnos en una interpretación, proceso deliberativo por el cual escogemos entre alternativas, como no lo hacemos en la percepción misma. Quizás, por ejemplo, haya algo raro en lo que hemos visto (recuérdense unas barajas anormales). Al dar vuelta a una esquina vemos a mamá entrando en una tienda del centro en un momento en que creíamos que se encontraba en casa. Al contemplar lo que hemos visto, de pronto exclamamos: “¡Ésa no era mamá, pues tenía el cabello rojo!” Al entrar en la tienda vemos de nuevo a esa señora y no podemos entender cómo pudimos confundirla con mamá. O, quizá vemos las plumas de la cola de un ave que está tomando sus alimentos del fondo de una piscina. ¿Se trata de un cisne o un ganso? Contemplamos lo que hemos visto y mentalmente comparamos las plumas de la cola con las de los cisnes y gansos que antes hemos visto. O quizás, si nos inclinamos hacia la ciencia, tan sólo queremos saber algunas características generales (la blancura de los cisnes, por ejemplo) de los miembros de una familia zoológica que fácilmente podamos reconocer. Una vez más, contemplamos lo que antes habíamos percibido, buscando lo que tengan en común los miembros de la familia dada.

Todos estos son procesos deliberativos, y en ellos buscamos y desplegamos normas y reglas. Es decir, tratamos de interpretar las sensaciones que ya tenemos, de analizar qué es lo dado para nosotros. Por mucho que hagamos eso, los procesos en cuestión finalmente deben ser neurales, y por tanto están gobernados por las mismas leyes físico-químicas que gobiernan la percepción, por una parte, y el latido de nuestros corazones, por la otra. Pero el hecho de que el sistema obedezca las mismas leyes en los tres casos no es una razón para suponer que nuestro aparato neural está programado para operar de la misma manera en la interpretación como en la percepción o en ambas como en el latir de nuestros corazones. A

lo que hemos estado oponiéndonos en este libro es, por tanto, al intento, tradicional desde Descartes, pero no antes, de analizar la percepción como un proceso interpretativo, como una versión inconsciente de lo que hacemos después de haber percibido.

Lo que hace que la integridad de la percepción valga la pena de subrayarse es, por supuesto, que tanta experiencia pasada se encuentre incorporada en el aparato neural que transforma los estímulos en sensaciones. Un mecanismo perceptual apropiadamente programado tiene valor de supervivencia. Decir que los miembros de distintos grupos pueden tener distintas percepciones cuando se encuentran ante los mismos estímulos no es implicar que tengan percepciones en absoluto. En muchos medios, el grupo que no podía diferenciar los perros de los lobos, no pudo subsistir. Tampoco podría un grupo de físicos nucleares de hoy sobrevivir como hombres de ciencia si no pudieran reconocer las huellas de las partículas y los electrones alfa. Es precisamente porque hay tan pocas maneras de ver por lo que aquellas que han pasado por las pruebas de uso del grupo son dignas de ser transmitidas de generación en generación. Asimismo, es porque han sido seleccionadas por su triunfo sobre el tiempo histórico por lo que tenemos que hablar de la experiencia y el conocimiento de la naturaleza incorporados en el camino del estímulo a la sensación.

Quizás “conocimiento” no sea la palabra adecuada, pero hay razones para valemos de ella. Lo que está incluido en el proceso neural que transforma los estímulos en sensaciones tiene las características siguientes: ha sido transmitido por medio de la educación; tentativamente, ha resultado más efectivo que sus competidores históricos en el medio actual de un grupo; y, finalmente, está sujeto a cambio, tanto por medio de una nueva educación como por medio del descubrimiento de incompatibilidad con el medio. Tales son características del conocimiento, y ello explica por qué aplico yo ese término. Pero es un uso extraño, porque falta otra característica. No tenemos acceso directo a lo que es aquello que sabemos, no tenemos reglas de generalización con que expresar este conocimiento. Las reglas que pudieran darnos tal acceso se referían a los estímulos, no a las sensaciones. Y solo podemos conocer los estímulos mediante una

elaborada teoría. A falta de ella, el conocimiento incluido en el camino del estímulo de sensación sigue siendo tácito.

Lo que antes se ha dicho acerca de la sensación, aunque obviamente preliminar, y que por ello no tiene que ser exacto en todos sus detalles, ha sido considerado literalmente. Por lo menos, es una hipótesis acerca de la visión que debe someterse la investigación experimental, aunque, probablemente, no a una verificación directa. Pero hablar así de ver y de sensaciones también sirve aquí a unas funciones metafóricas, como en todo el cuerpo de este libro. No *vemos* los electrones, sino antes bien su recorrido, o bien burbujas de vapor en una cámara anublada. No *vemos* para nada las corrientes eléctricas, sino, antes bien, la aguja de un amperímetro o de un galvanómetro. Sin embargo, en las páginas anteriores, particularmente en la Sección X, repetidas veces he procedido como si en realidad percibiéramos entidades teóricas, como corrientes, electrones y campos, como si aprendiésemos a hacerlo examinando ejemplos, y como si en todos estos casos fuese erróneo dejar de hablar de “ver”. La metáfora que transfiere “ver” a contextos similares, apenas resulta base suficiente para tales afirmaciones. A la larga, tendrá que ser eliminada en favor de un modo de discurso más literal.

El programa de computadoras antes referido empieza a indicar las maneras en que esto pueda hacerse, pero ni el espacio de que disponemos ni el grado de mi actual comprensión me permiten eliminar aquí la metáfora. [pd-14] En cambio, brevemente trataré de sostenerla. Ver unas gotitas de agua o una aguja contra una escala numérica es una primitiva experiencia perceptual para el hombre que no está acostumbrado a cámaras anubladas y amperímetros. Por ello, requiere contemplación, análisis e interpretación (o bien la intervención de una autoridad exterior) antes de que pueda llegarse a conclusiones acerca de electrones o de corrientes. Pero la posición de quien ha aprendido acerca de tales instrumentos y ha tenido una gran experiencia con tales ejemplos es muy distinta, y hay una diferencia correspondiente, en la forma en que procesa los estímulos que le llegan a partir de aquellos. Contemplando el vapor de su aliento en una fría noche de invierno, su sensación puede ser la misma del lego, pero al ver una cámara anublada ve (aquí sí literalmente) no gotitas sino el rastro de electrones, partículas alfa,

etc. Tales pistas, si el lector desea, son las normas que él interpreta como índices de la presencia de las partículas correspondientes, pero tal camino es a la vez más breve y distinto del que sigue aquél que interpreta las gotitas.

O bien, consideremos al científico que inspecciona un amperímetro para determinar el número ante el cual se ha detenido la aguja. Su sensación probablemente sea la misma que la del profano, particularmente si este último ha leído antes otras clases de metros. Pero ha visto el metro (una vez más, a menudo literalmente) en el contexto de todo el circuito, y sabe algo acerca de su estructura interna. Para él, la posición de la aguja es una norma, pero tan solo del *valor* de la corriente. Para interpretarla sólo tiene que determinar en qué escala debe leerse el metro. En cambio, para el profano la posición de la aguja no es una norma de nada, excepto de sí misma. Para interpretarla, tendrá que examinar toda la posición de los alambres, internos y externos, experimentar con baterías e imanes, etc. En el uso metafórico tanto como en el literal de "ver", la interpretación empieza donde la percepción termina. Los dos procesos no son uno mismo, y lo que la percepción deja para que la interpretación lo complete depende radicalmente de la naturaleza y de la cantidad de la anterior experiencia y preparación.

5. *Ejemplares, inconmensurabilidad y revoluciones*

Lo que hemos dicho antes nos ofrece una base para aclarar un aspecto más del libro: mis observaciones sobre la inconmensurabilidad y sus consecuencias para los científicos que han debatido la opción entre teorías sucesivas.[pd-15] En las Secciones X y XII yo he afirmado que en tales debates, uno y otro bando inevitablemente ven de manera diferente algunas de las situaciones experimentales u observacionales a las que tienen acceso. Sin embargo, como los vocabularios en que discuten de tales situaciones constan predominantemente de los mismos términos, tienen que estar remitiendo algunos de tales términos a la naturaleza de una manera distinta, y su comunicación, inevitablemente, resulta sólo parcial. Como resultado, la superioridad de una teoría sobre otra es algo que no puede demostrarse en el

debate. En cambio, como he insistido, cada bando, mediante la persuasión, debe tratar de convertir al otro. Tan solo los filósofos han interpretado con graves errores la intención de estas partes de mi argumento. Sin embargo, muchos de ellos han asegurado que yo creo lo siguiente:[pd-16] los defensores de teorías inconmensurables no pueden comunicarse entre sí, en absoluto; como resultado, en un debate sobre la elección de teorías no puede recurrirse a *buenas* razones: en cambio la teoría habrá de escogerse por razones que, a fin de cuentas, son personales y subjetivas; alguna especie de percepción mística es la responsable de la decisión a que al final se llegue. Más que ninguna otra parte de este libro, los pasajes en que se basan estas erróneas interpretaciones han sido responsables de las acusaciones de irracionalidad. Considérense primero mis observaciones sobre la prueba. Lo que he estado tratando de explicar es un argumento sencillo, con el que desde hace largo tiempo están familiarizados los filósofos de la ciencia. Los debates sobre la elección de teorías no pueden tener una forma que se parezca por completo a la prueba lógica o matemática. En esta última, desde el principio quedan estipuladas las premisas y reglas de inferencia. Si hay desacuerdo acerca de las conclusiones, los bandos que participen en el siguiente debate podrán volver sobre sus pasos, uno por uno, revisando cada uno contra toda estipulación anterior. Al final de cada proceso, uno u otro tendrán que admitir que han cometido un error, que han violado una regla previamente aceptada. Después de tal admisión no tendrán a quien recurrir, y la prueba de su oponente resultará decisiva. En cambio, sólo si los dos descubren que difieren acerca del significado o de la aplicación de las reglas estipuladas, que el acuerdo anterior no ofrece una base suficiente para la prueba, sólo entonces continúa el debate en la forma que inevitablemente toma durante las revoluciones científicas. Tal debate es acerca de las premisas, y recurre a la persuasión como preludio de la posibilidad de demostración.

En esta tesis, relativamente familiar, no hay nada que implique que no hay buenas razones para quedar persuadido, o que tales razones a fin de cuentas no son decisivas para el grupo. Tampoco implica siquiera que las razones para la elección son distintas de aquellas que habitualmente catalogan los filósofos de la ciencia: precisión, sencillez, utilidad y

similares. Sin embargo, lo que debe indicar es que tales razones funcionan como valores y que así pueden aplicarse de manera diferente, individual y colectivamente, por los hombres que convienen en aceptarlas. Por ejemplo, si dos hombres no están de acuerdo acerca de la utilidad relativa de sus teorías, o si convienen en ellas pero no en la importancia relativa de la utilidad y, digamos, en el ámbito que ofrecen para llegar a una decisión, ninguno podrá quedar convencido de haberse equivocado. Tampoco estará siendo anticientífico ninguno de los dos. No hay un algoritmo neutral para la elección de teorías, no hay ningún procedimiento sistemático de decisión que, aplicado adecuadamente, deba conducir a cada individuo del grupo a la misma decisión. En este sentido es la comunidad de los especialistas, que no sus miembros individuales, la que hace efectiva la decisión. Para comprender por qué se desarrolla la ciencia tal como lo hace, no es necesario desentrañar los detalles de biografía y personalidad que llevan a cada individuo a una elección particular, aunque esto ejerza una notable fascinación. Lo que debe comprenderse, en cambio, es el modo en que un conjunto particular de valores compartidos interactúa con las experiencias particulares que comparte toda una comunidad de especialistas para determinar que la mayoría de los miembros del grupo a fin de cuentas encuentren decisivo un conjunto de argumentos por encima de otro. Tal proceso es la persuasión, pero presenta un problema más profundo aún. Dos hombres que perciben la misma situación de modo diferente pero que sin embargo no se valen del mismo vocabulario, al discutirlo tienen que estar valiéndose de las palabras de un modo distinto. Es decir, hablan de lo que yo he llamado puntos de vista inconmensurables. ¿Cómo pueden tener esperanzas de entenderse y mucho menos de ser persuasivos? Hasta una respuesta preliminar a tal pregunta requiere una mayor especificación de la naturaleza de la dificultad. Supongo que, al menos en parte, tal especificación toma la forma siguiente.

La práctica de la ciencia normal depende de la capacidad, adquirida a partir de ejemplares, de agrupar objetos y situaciones en conjuntos similares que son primitivos en el sentido en que el agrupamiento se hace sin contestar a la pregunta: “¿Similar con respecto a qué?” Un aspecto central de toda evolución es, entonces, que cambien algunas de las relaciones de

similitud. Objetos que fueron agrupados en el mismo conjunto con anterioridad se agrupan de diferentes maneras después, y viceversa. Piénsese en el Sol, la Luna, Marte y la Tierra antes y después de Copérnico; de la caída libre, del movimiento pendular y planetario antes y después de Galileo; o en sales, aleaciones y mezclas de hierros azufrados antes y después de Dalton. Como la mayor parte de los objetos, aun dentro de los conjuntos alterados, continúan agrupados, habitualmente se conservan los nombres de los conjuntos. No obstante, la transferencia de un subconjunto forma parte de un cambio crítico en la red de sus interrelaciones. Transferir los metales del conjunto de compuestos al conjunto de elementos desempeñó un papel esencial en el surgimiento de una nueva teoría de la combustión, de la acidez, y de la combinación física y química. En poco tiempo tales cambios habíanse extendido por todo el campo de la química. Por tanto, no es de sorprender que cuando ocurren tales redistribuciones, dos hombres cuyo discurso previamente había procedido con una comprensión aparentemente completa, de pronto puedan encontrarse respondiendo a un mismo estímulo con descripciones y generalizaciones incompatibles. Esas dificultades no se harán sentir en todos los campos, ni siquiera de su mismo discurso científico, pero sí se plantearán y se agruparán luego más densamente alrededor de los fenómenos de los cuales depende más la elección de una teoría.

Tales problemas, aun cuando por primera vez se hacen evidentes en la comunicación, no son meramente lingüísticos, y no pueden resolverse simplemente estipulando la definición de los términos más difíciles. Como las palabras alrededor de las cuales se agrupan las dificultades han sido aprendidas, en parte por su directa aplicación a ejemplares, quienes participan en una interrupción de la comunicación no pueden decir: “Yo uso la palabra ‘elemento’ (o ‘mezcla’ o ‘planeta’ o ‘movimiento incontrolado’) de manera determinada por las siguientes normas”. Es decir, no pueden recurrir a un lenguaje neutro que ambos apliquen de la misma manera y que sea adecuado al planteamiento de sus teorías o siquiera a las consecuencias empíricas de las teorías. Parte de la diferencia es anterior a la aplicación de los idiomas en que, sin embargo, se refleja.

Los hombres que experimentan tales interrupciones a la comunicación, por lo tanto, deben conservar algún recurso. Los estímulos que actúan sobre ellos son los mismos. Y también su aparato neural general, por muy distintamente programado que esté. A mayor abundamiento, excepto en una pequeña zona del conocimiento (aunque importantísima) aun su programación neural debe estar muy cerca de ser la misma, pues tienen en común una historia, excepto el pasado inmediato. Como resultado, tanto su mundo como su lenguaje científicos son comunes. Dado todo eso en común, debe poder descubrir mucho acerca de aquello en que difieren. Sin embargo, las técnicas requeridas no son ni directas ni confortables, ni partes del arsenal normal del científico. Los científicos rara vez las reconocen por lo que son, y rara vez las utilizan durante más tiempo del requerido para tratar de inducir a una conversión o para convencerse a sí mismos de que no podrán obtenerla.

En resumen, lo que pueden hacer quienes participan en una interrupción de la comunicación es reconocerse unos a otros como miembros de diferentes comunidades lingüísticas, y entonces se convierten en traductores.[pd-17] Tomando como objeto de estudio las diferencias entre su propio discurso intragrupal e intergrupal, pueden, en primer lugar, tratar de descubrir los términos y locuciones que, usados sin problemas dentro de la comunidad son, no obstante, focos de disturbio para las discusiones intergrupales. (Las locuciones que no presentan tales dificultades pueden traducirse homofónicamente). Habiendo aislado de la comunidad científica tales ámbitos de dificultad, en un esfuerzo más por dilucidar sus perturbaciones, pueden valerse del vocabulario que diariamente comparten. Es decir, cada uno puede hacer un intento de descubrir lo que el otro mundo ve y dice cuando se le presenta un estímulo que pudiera ser distinto de su propia respuesta verbal. Si pueden contenerse lo suficiente para no explicar un comportamiento anormal como consecuencia de un simple error o de locura, con el tiempo pueden volverse muy buenos pronosticadores del comportamiento del otro bando. Cada uno habrá aprendido a traducir la teoría del otro y sus consecuencias a su propio lenguaje y, simultáneamente, a describir en su idioma el mundo al cual se aplica tal teoría. Eso es lo que

regularmente hacen (o debieran hacer) los historiadores de la ciencia cuando se enfrentan a teorías científicas anticuadas.

Como la traducción, si se continúa, permite a quienes participen en una interrupción de la comunicación experimentar vicariamente algunos de los méritos y defectos de los puntos de vista de los otros, ésta es una potente herramienta tanto de transformación como de persuasión. Pero ni aun la persuasión tiene que tener buen éxito, y si lo tiene, no necesariamente irá acompañada o seguida por la conversión. Una importante distinción que sólo recientemente he reconocido por completo es que las dos experiencias de ninguna manera son las mismas.

Persuadir a alguien es, convengo en ello, convencerlo de que nuestra opinión es mejor que la suya, y por lo tanto debe remplazaría. Esto se logra, ocasionalmente, sin recurrir a nada parecido a la traducción. En su ausencia, muchas de las explicaciones y enunciados de problemas suscritos por los miembros de un grupo científico resultarán opacos para el otro. Pero cada comunidad lingüística habitualmente puede producir, desde el principio, unos resultados concretos de su investigación que, aunque sean descriptibles en frases comprendidas de la misma manera por los dos grupos, no pueden ser explicados por la otra comunidad en sus propios términos. Si el nuevo punto de vista se sostiene durante un tiempo y sigue siendo útil, los resultados de la investigación verbalizables de esta manera probablemente crecerán en número. Para algunos hombres, tales resultados, por sí mismos, serán decisivos. Pueden decir: no se cómo lo lograron los partidarios de la nueva opinión, pero yo debo aprenderlo; sea lo que fuere lo que están haciendo, claramente tienen razón. Tal reacción resulta particularmente fácil para los hombres que apenas están ingresando en la profesión, pues aún no han adquirido los vocabularios y compromisos especiales de uno u otro grupo.

Los argumentos que pueden presentarse en el vocabulario del que se valen ambos grupos, de la misma manera, sin embargo, generalmente no son decisivos, al menos no lo son hasta una etapa muy tardía de la evolución de las opiniones opuestas.

Entre aquellos ya admitidos en la profesión pocos quedarán persuadidos sin recurrir un poco a las comparaciones más generales que permite la

traducción. Aunque el precio que hay que pagar habitualmente consiste en frases de gran longitud y complejidad (recuérdese la controversia Proust-Berthollet, que se llevó a cabo sin recurrir al término "elemento"), muchos resultados adicionales de la investigación pueden ser *traducidos* del idioma de una comunidad al de la otra. Además, al avanzar la traducción, algunos miembros de cada comunidad también pueden empezar vicariamente a comprender cómo una afirmación antes confusa pudo parecer una explicación a los miembros del grupo opuesto. La disponibilidad de técnicas como éstas no garantiza, desde luego, la persuasión. Para la mayoría de la gente, la traducción es un proceso amenazante, totalmente ajeno a la ciencia normal. En todo caso, siempre se dispone de contra argumentos y ninguna regla prescribe cómo debe llegarse a un equilibrio. No obstante, conforme un argumento se apila sobre otro argumento y cuando alguien ha recogido con éxito un reto tras otro, sólo la más ciega obstinación podría explicar finalmente una resistencia continuada.

Siendo tal el caso, llega a ser de una importancia decisiva un segundo aspecto de la traducción, muy familiar tanto a lingüistas como a historiadores. Traducir una teoría o visión del mundo al propio lenguaje no es hacerla propia. Para ello hay que volverse "completamente indígena", descubrir que se está pensando y trabajando en un idioma que antes era extranjero, no simplemente traduciéndolo; sin embargo, tal transición no es una que un individuo pueda hacer o pueda dejar de hacer por deliberación y gusto, por buenas que sean sus razones para desear hacerla así. En cambio, en algún momento del proceso de aprender a traducir, el individuo encuentra que ya ha ocurrido la transición, que él se ha deslizado al nuevo idioma sin haber tomado ninguna decisión. O bien, como muchos de quienes encontraron por primera vez, digamos, la relatividad o la mecánica cuántica siendo ya de mediana edad, se encuentra totalmente persuadido de la nueva opinión, pero, sin embargo, incapaz de internalizarla y de sentirse a gusto en el mundo al que ayuda a dar forma. Intelectualmente, tal hombre ya ha hecho su elección, pero la conversión requerida, si ha de ser efectiva, aún lo elude. No obstante, puede valerse de la nueva teoría, pero lo hará así como un extranjero que se hallara en un medio ajeno, como una alternativa de la que dispone tan sólo porque se encuentran allí algunos "indígenas" La

labor del hombre es parasitaria de la de ellos, pues aquél carece de la constelación de conjuntos mentales que por medio de la educación adquirirán los futuros miembros de la comunidad. La experiencia de la conversión que yo he comparado a un cambio de *Gestalt* permanece, por lo tanto, en el núcleo mismo del proceso revolucionario. Buenas razones para la elección ofrecen motivos para la conversión y el clima en que más probablemente ocurrirá ésta. Además, la traducción puede aportar puntos de entrada para la reprogramación neural, que por inescrutable que sea en este momento, debe hallarse subyacente en la conversión. Pero ni unas buenas razones ni la traducción constituyen la conversión y es este proceso el que tenemos que explicar para comprender una índole esencial de cambio científico.

6. *Las revoluciones y el relativismo*

Una consecuencia de la posición antes delineada ha molestado particularmente a varios de mis críticos.[pd-18] Encuentran relativista mi perspectiva, particularmente como está desarrollada en la última sección de este libro. Mis observaciones sobre la traducción ponen en relieve las razones de esta acusación. Los partidarios de distintas teorías son como los miembros de comunidades distintas de cultura-lenguaje. El reconocer el paralelismo sugiere que en algún sentido ambos grupos pueden estar en lo cierto. Aplicada a la cultura y a su desarrollo, tal posición es relativista.

Pero aplicada a la ciencia puede no serlo, y en todo caso está muy lejos del mero *relativismo* en un respecto que mis críticos no han visto. Tomados como grupo o en grupos, los practicantes de las ciencias desarrolladas son, como yo he afirmado, fundamentalmente, resolvedores de enigmas. Aunque los valores que a veces despliegan, de elección de teorías se derivan también de otros aspectos de su trabajo, la demostrada capacidad para plantear y para resolver enigmas dados por la naturaleza es, en caso de conflicto de valores, la norma dominante para la mayoría de los miembros dé un grupo científico. Como cualquier otro valor, la capacidad de resolver enigmas resulta equívoca en su aplicación. Los hombres que la comparten pueden diferir, no obstante, en los juicios que hacen basados en su

utilización. Pero el comportamiento de una comunidad que la hace preeminente será muy distinto del de aquella comunidad que no lo haga. Creo yo que en las ciencias el alto valor atribuido a la capacidad de resolver enigmas tiene las consecuencias siguientes; imagínese un árbol evolutivo que represente el desarrollo de las modernas especialidades científicas a partir de sus orígenes comunes, digamos en la primitiva filosofía naturalista y en las técnicas. Una línea que suba por ese árbol, sin volver nunca atrás, desde el tronco hasta la punta de alguna rama, podría seguir una sucesión de teorías de ascendencia común. Considerando cualesquiera dos de tales teorías elegidas a partir de puntos no demasiado cercanos a su origen, debe ser fácil establecer una lista de normas que puedan capacitar a un observador no comprometido a distinguir las anteriores de la teoría más reciente, una y otra vez. Entre las más útiles se encontrarán la precisión en la predicción, particularmente en la predicción cuantitativa; el equilibrio entre temas esotéricos y cotidianos, y el número de diferentes problemas resueltos. Menos útiles para este propósito, aunque considerables determinantes de la vida científica, serían valores tales como simplicidad, dimensiones y compatibilidad con otras especialidades. Tales listas aún no son las requeridas, pero no tengo duda de que se las puede completar. De ser esto posible, entonces el desarrollo científico, como el biológico, constituye un proceso unidireccional e irreversible. Las teorías científicas posteriores son mejores que las anteriores para resolver enigmas en los medios a menudo totalmente distintos a los que se aplican. Tal no es una posición relativista, y muestra el sentido en el cual sí soy un convencido creyente en el progreso científico.

Sin embargo, comparada esta posición con la idea de progreso que hoy prevalece tanto entre los filósofos de la ciencia como entre los profanos, la posición carece de un elemento esencial. A menudo se considera que una teoría científica es mejor que sus predecesoras, no tan solo en el sentido en que es un instrumento mejor para descubrir y resolver enigmas, sino también porque, de alguna manera, constituye una representación mejor de lo que en realidad es la naturaleza. A menudo se oye decir que las teorías sucesivas crecen aproximándose cada vez más a la verdad. Generalizaciones aparentes como esa no sólo se refieren a la solución de

enigmas y a las predicciones concretas derivadas de una teoría, sino, antes bien, a su ontología, es decir, a la unión de las entidades con que la teoría cubre la naturaleza y lo que "realmente está allí".

Quizás haya alguna manera de salvar la idea de "verdad" para su aplicación a teorías completas, pero ésta no funcionará. Creo yo que no hay un medio, independiente de teorías, para reconstruir frases como "realmente está allí"; la idea de una unión de la ontología de una teoría y su correspondiente "verdadero" en la naturaleza me parece ahora, en principio, una ilusión; además, como historiador, estoy impresionado por lo improbable de tal opinión. Por ejemplo, no dudo de que la mecánica de Newton es una mejora sobre la de Aristóteles, y que la de Einstein es una mejora sobre la de Newton como instrumento para resolver enigmas. Pero en su sucesión no puedo ver una dirección coherente de desarrollo ontológico. Por el contrario, en algunos aspectos importantes, aunque, desde luego, no en todos, la teoría general de la relatividad, de Einstein, está más cerca de la de Aristóteles que ninguna de las dos de la de Newton. Aunque resulta comprensible la tentación de tildar a tal posición de relativista, a mí tal descripción me resulta errónea. Y, a la inversa, si tal posición es relativismo no puedo ver que el relativista pierda nada necesario para explicar la naturaleza y el desarrollo de las ciencias.[pd-19]

7. *La naturaleza de la ciencia*

Concluiré con un breve análisis de dos reacciones recurrentes a mi texto original, la primera crítica, la segunda favorable y, creo yo, ninguna de las dos correcta. Aunque ninguna de las dos se relaciona con lo que se ha dicho, ni entre sí, ambas han prevalecido lo suficiente para exigir al menos alguna respuesta.

Unos pocos lectores de mi texto original han notado que yo repetidas veces he pasado del modo descriptivo al modo normativo, transición particularmente marcada en pasajes ocasionales que empiezan con "pero eso no es lo que hacen los científicos", y que terminan afirmando que los científicos no deben hacerlo. Algunos críticos afirman que yo he estado confundiendo la descripción con la prescripción, violando así el antiguo y

honorable teorema filosófico según el cual “es” no puede implicar “debe ser”.[pd-20]

Sin embargo, tal teorema, en la práctica, ha pasado a no ser más que un marbete, y ya no se le respeta en ninguna parte. Un buen número de filósofos contemporáneos han descubierto importantes contextos en que lo normativo y lo descriptivo quedan inextricablemente entrelazados. “Es” y “debe ser” están lejos de hallarse siempre tan separados como parece. Pero no es necesario recurrir a las sutilezas de la actual filosofía lingüística para desentrañar lo que ha parecido confuso en este aspecto de mi posición. Las páginas anteriores presentan un punto de vista o una teoría acerca de la naturaleza de la ciencia y, como otras filosofías de la ciencia, la teoría tiene consecuencias para el modo en que deben proceder los científicos si quieren que su empresa triunfe. Aunque no tiene que ser correcta, como ninguna otra teoría, sí aporta una base legítima para reiterados “debe ser” y “tiene que ser”. A la inversa, un conjunto de razones para tomar en serio la teoría es que los científicos, cuyos métodos han sido desarrollados y seleccionados de acuerdo con su éxito, en realidad sí se comportan como la teoría dice que deben hacerlo. Mis generalizaciones descriptivas son prueba de la teoría precisamente, porque también pueden haberse derivado de ella, en tanto que, según otras opiniones de la naturaleza de la ciencia, constituyen un comportamiento anómalo.

Creo yo que la circularidad de tal argumento no lo hace vicioso. Las consecuencias del punto de vista que estamos examinando no quedan agotadas por las observaciones en las que se basó al principio. Desde antes de que el libro fuera publicado por primera vez, algunas partes de la teoría que presenta, habían sido para mí una herramienta de gran utilidad para la exploración del comportamiento y el desarrollo científico. La comparación de esta posdata con las páginas del texto original acaso indique que ha seguido desempeñando tal papel. Ningún punto de vista meramente singular puede ofrecer tal guía.

A una última reacción a este libro, mi respuesta tiene que ser de índole distinta. Muchos de quienes han encontrado un placer en él lo han encontrado no tanto porque ilumine la ciencia cuanto porque han considerado sus principales tesis aplicables también a muchos otros

campos. Veo lo que quieren decir, y no desearía desalentar sus esfuerzos de extender la posición; pero, no obstante, su reacción me ha intrigado. En el grado en que mi libro retrata el desarrollo científico como una sucesión de periodos establecidos por al tradición, puntuados por interrupciones no acumulativas, sus tesis indudablemente son de extensa aplicabilidad. Pero así tenían que serlo, porque son tomadas de otros campos. Los historiadores de la literatura, de la música, de las artes, del desarrollo político y de muchas otras actividades humanas han descrito de la misma manera sus temas. La periodización de acuerdo con interrupciones revolucionarias de estilo, gusto y estructura institucional, ha estado siempre entre sus útiles normales. Si yo he sido original con respecto a conceptos como éstos, ello ha sido, principalmente, por aplicarlos a las ciencias, campo que por lo general, se había supuesto que se desarrollaba de manera distinta. Es concebible que la noción de un paradigma como una realización concreta, un ejemplar, sea una segunda contribución. Por ejemplo, yo sospechaba que algunas de las notorias dificultades que rodean a la noción de estilo en las artes plásticas podrán desvanecerse si puede verse que las pinturas están modeladas unas a partir de otras, y no producidas de conformidad con algunos abstractos cánones de estilo.[pd-21]

Sin embargo, también pretende este libro establecer otra clase de argumento, que ha resultado menos claramente visible para muchos de mis lectores. Aunque el desarrollo científico puede parecerse al de otros campos más de lo que a menudo se ha supuesto, también es notablemente distinto. Por ejemplo, decir que la ciencia, al menos después de cierto punto de su desarrollo, progresa de una manera en que no lo hacen otros campos, puede ser completamente erróneo, cualquiera que sea tal progreso. Uno de los objetos del libro fue examinar tales diferencias y empezar a explicarlas. Considérese, por ejemplo, el reiterado hincapié anterior en la ausencia o, como diría yo ahora, en la relativa escasez de escuelas en competencia en la ciencia del desarrollo. O recuérdense mis observaciones acerca del grado en que los miembros de una comunidad científica dada constituyen el único público y son los únicos jueces del trabajo de la comunidad. O piénsese, asimismo, en la naturaleza especial de la educación científica, en la solución de enigmas como objetivo y en el sistema de valores que el grupo

de científicos muestra en los periodos de crisis y decisión. El libro aisla otros rasgos de la misma índole, no necesariamente exclusivos de la ciencia pero que, en conjunción, sí colocan aparte tal actividad.

Acerca de todos estos rasgos de la ciencia hay mucho más por aprender. Habiendo iniciado esta posdata subrayando la necesidad de estudiar la estructura comunitaria de la ciencia, la terminaré subrayando la necesidad de un estudio similar y, sobre todo, comparativo de las correspondientes comunidades en otros ámbitos. ¿Cómo se elige y cómo se es elegido para miembro de una comunidad particular, sea científica o no? ¿Cuál es el proceso y cuáles son las etapas de la socialización del grupo? ¿Qué ve el grupo, colectivamente, como sus metas? ¿Qué desviaciones, individuales o colectivas, tolerará, y cómo controla la aberración impermisible?, una mayor comprensión de la ciencia dependerá de las respuestas a otras clases de preguntas, así como a éstas, pero no hay campo en que se necesite con más urgencia un trabajo ulterior. El conocimiento científico, como el idioma, es, intrínsecamente, la propiedad común de un grupo, o no es nada en absoluto. Para comprender esto necesitaremos conocer las características especiales de los grupos que lo crean y que se valen de él.



THOMAS SAMUEL KUHN (Cincinnati, 18 de julio de 1922 - Cambridge, 17 de junio de 1996) fue un historiador y filósofo de la ciencia estadounidense, conocido por su contribución al cambio de orientación de la filosofía y la sociología científica en la década de 1960.

Kuhn se doctoró en física en la Universidad Harvard en 1949 y tuvo a su cargo un curso académico sobre la Historia de la Ciencia en dicha universidad de 1948 a 1956. Luego de dejar el puesto, Kuhn dio clases en la Universidad de California, Berkeley hasta 1964, en la Universidad de Princeton hasta 1979 y en el Instituto Tecnológico de Massachusetts hasta 1991.

Autor de los libros *La revolución copernicana* (1957), *La función del dogma en la investigación científica* (1961), *Segundos pensamientos sobre paradigmas* (1970), *La tensión esencial* (1977), *La teoría del cuerpo negro y la discontinuidad cuántica* (1978). Su pensamiento quedó plasmado

fundamentalmente en la obra *La estructura de las revoluciones científicas* (1962).

Notas

[p-1] Ejercieron una influencia primordial: *Études Galiléennes*, de Alexandre Koyré (3 vols.; París, 1939); *Identity and Reality*, de Emile Meyerson, trans. Kate Loewenberg (Nueva York, 1930); *Les doctrines chimiques en France du debut du XVIIe à la fin du XVIIIe siècle* (París, 1923), y *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique* (París, 1930) de Hélène Metzger; y *Die Vorläufer Galileis im 14. Jahrhundert*, de Anneliese Maier ("Studien zur Naturphilosophie der Spätscholastik"; Roma, 1949). <<

[p-2] Debido a que desarrollaron conceptos y procesos que surgen también directamente de la historia de la ciencia, dos conjuntos de investigaciones de Piaget resultaron particularmente importantes: *The Child’s Conception of Causality*, traducción de Marjorie Gabain (Londres, 1930), y *Les notions de mouvement et de vitesse chez l’enfant* (París, 1946). <<

[p-3] Los escritos de Whorf han sido reunidos posteriormente por John B. Carroll en *Language, Thought, and Reality—Selected Writings of Benjamin Lee Whorf* (Nueva York., 1956). Quine ha presentado sus opiniones en "Two dogmas of Empiricism", reimpreso en su obra *From a Logical Point of View* (Cambridge, Mass., 1953), pp. 2046. <<

[p-4] Estos factores se estudian en *The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought*, de T. S. Kuhn (Cambridge, Mass., 1957), pp. 122132, 270-271. Otros efectos de las condiciones intelectuales y económicas externas sobre el desarrollo científico substantivo se ilustran en mis escritos: “Conservation of Energy as an Example of Simultaneous Discovery”, *Critical Problems in the History of Science*, ed. Marshall Clagett (Madison, Wisconsin, 1959), pp. 321-356; “Engineering Precedent for the Work of Sadi Carnot”, *Archives internationales d’histoire des sciences*, XIII (1960), 247-251; y “Sadi Carnot and the Cagnard Engine”, *Isis*, LII (1961), 567-74. Por consiguiente, considero que el papel desempeñado por los factores externos es menor, sólo con respecto a los problemas estudiados en este ensayo. <<

[2-1] *The History and Present State of Discoveries Relating to Vision, Light, and Colours* (Londres, 1772), pp. 385-90, de Joseph Priestley. <<

[2-2] *Histoire de la lumière*, de Vasco Ronchi, traducción de Jean Taton (París, 1956), capítulos i-iv. <<

[2-3] *The Development of the Concept of Electric Charge: Electricity from the Greeks to Coulomb*, de Duane Roller y Duane H. D. Roller (“Harvard Case Histories in Experimental Science”, Caso 8; Cambridge, Mass., 1954); y *Franklin and Newton: An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin’s Work in Electricity as an Example Thereof* (Filadelfia, 1956), de I. B. Cohen, capítulos vii-xii. Algunos de los detalles analíticos del párrafo que sigue en el texto debo agradecérselos a mi alumno John L. Heilbron, puesto que los tomé de un trabajo suyo, todavía no publicado. Pendiente de publicación, un informe en cierto modo más extenso y preciso del surgimiento del paradigma de Franklin va incluido en la obra de T. S. Kuhn, “The Function of Dogma in Scientific Research”, en a. C. Crombie (red.), “Symposium on the History of Science, University of Oxford, July 9-15, 1961”, que será publicada por Heinemann Educational Books, Ltd. <<

[2-4] Compárese el bosquejo de una historia natural del calor en *Novum Organum*, de Bacon, vol. VIII de *The Works of Francis Bacon*, ed. J. Spedding. R. L. Ellis y D. D. Heath (Nueva York, 1869), pp. 179-203. <<

[2-5] Roller y Roller, *op. cit.*, pp. 14, 22, 28, 43. Sólo después del trabajo registrado en la última de esas citas obtuvieron los efectos repulsivos el reconocimiento general como inequívocamente eléctricos. <<

[2-6] Bacon, *op. cit*., pp. 235, 337, dice: “El agua ligeramente tibia es más fácil de congelar que la que se encuentra completamente fría.” Para un informe parcial de la primera historia de esta extraña observación, véase Marshall Clagett, *Giovanni Marliani and Late Medieval Physics* (Nueva York, 1941), capítulo iv. <<

[2-7] Roller y Roller, *op. cit.*, pp. 51-54. <<

[2-8] El caso más molesto era el de la repulsión mutua de cuerpos cargados negativamente. Véase Cohen, *op. cit.*, pp. 491-94, 53-43. <<

[2-9] Debe hacerse notar que la aceptación de la teoría de Franklin no concluye totalmente el debate. En 1759, Robert Symmer propuso una versión de dos fluidos de la teoría y, durante muchos años, a continuación, los electricistas estuvieron divididos en sus opiniones sobre si la electricidad era un fluido simple o doble. Pero los debates sobre ese tema confirman sólo lo que se ha dicho antes sobre la manera en que una realización universalmente reconocida sirve para unificar a la profesión. Los electricistas, aun cuando a ese respecto continuaron divididos, llegaron rápidamente a la conclusión de que ninguna prueba experimental podría distinguir las dos versiones de la teoría y que por consiguiente eran equivalentes. Después de eso, ambas escuelas podían explotar y explotaron todos los beneficios proporcionados por la teoría de Franklin (*ibid*., pp. 543-46, 548-54). <<

[2-10] Bacon, *op. cit*., p. 210. <<

[2-11] La historia de la electricidad proporciona un ejemplo excelente, que podría duplicarse a partir de las carreras de Priestley, Kelvin y otros. Franklin señala que Nollet, quien, a mitades del siglo, era el más influyente de los electricistas continentales, “vivió lo bastante como para verse como el último miembro de su secta, con excepción del Señor B. —su alumno y discípulo inmediato” (Max Farrand [ed.], *Benjamin Franklin's Memoirs* [Berkeley, Calif., 1949], pp. 384-86). Sin embargo, es más interesante la resistencia de escuelas enteras, cada vez más aisladas de la ciencia profesional. Tómese en consideración, por ejemplo, el caso de la astrología, que antiguamente era parte integrante de la astronomía. O piénsese en la continuación, a fines del siglo XVIII y principios del XIX, de una tradición previamente respetada de química “romántica”. Ésta es la tradición discutida por Charles C. Gillispie en “The *Encyclopèdie* and the Jacobin Philosophy of Science: A Study in Ideas and Consequences”, *Critical Problems in the History of Science*, ed. Marshall Clagett (Madison, Wis., 1959), pp. 255-89; y “The Formation of Lamarck's Evolutionary Theory”, *Archives internationales d'histoire des sciences*, XXXVII (1956), 32338. <<

[2-12] Los desarrollos posteriores a Franklin incluyen un aumento inmenso de la sensibilidad de los detectores de cargas, las primeras técnicas dignas de confianza y difundidas generalmente para medir la carga, la evolución del concepto de capacidad y su relación con una noción nuevamente refinada de la tensión eléctrica, y la cuantificación de la fuerza electrostática. Con respecto a todos esos puntos, véase Roller y Roller, *op. cit.*, pp. 66-81; W. C. Walker, “The Detection and Estimation of Electric Charges in the Eighteenth Century”, *Annals of Science*, I (1936), 66-100; y Edmund Hoppe, *Geschichte der Elektrizität* (Leipzig, 1884), Primera Parte, capítulos iii-iv. <<

[3-1] Bernard Barber, “Resistance by Scientists to Scientific Discovery”, *Science*, CXXXIV (1961), 596-602. <<

[3-2] El único punto duradero de comprobación que es reconocido todavía en la actualidad es el de la precesión del perihelio de Mercurio. El corrimiento hacia el rojo del espectro de la luz de las estrellas distantes puede deducirse a partir de consideraciones más elementales que la relatividad general y lo mismo puede ser posible para la curvatura de la luz en torno al Sol, un punto que en la actualidad está a discusión. En cualquier caso, las mediciones de este último fenómeno continúan siendo equivocas. Es posible que se haya establecido, hace muy poco tiempo, otro punto complementario de comprobación: el corrimiento gravitacional de la radiación de Mossbauer. Quizás haya pronto otros en este campo actualmente activo, pero que durante tanto tiempo permaneció aletargado. Para obtener un informe breve y al día sobre ese problema, véase “A Report on the NASA Conference on Experimental Tests of Theories of Relativity”, de L. I. Schiff, *Physics Today*, XIV (1961), 42-48. <<

[3-3] Sobre dos de los telescopios de paralaje, véase *A History of Science, Technology, and Philosophy in the Eighteenth Century* (2a ed., Londres, 1952), pp. 103-5, de Abraham Wolf. Sobre la máquina Atwood, véase *Patterns of Discovery*, de N. R. Hanson (Cambridge, 1958), pp. 100102, 207-8. Para los últimos dos aparatos especiales, véase "Méthode génèrale pour mesurer la vitesse de la lumière dans l'air et les milieux transparents. Vitesses relatives de la lumière dans l'air et dans l'eau…", de M. L. Foucault, *Comptes rendus… de l'Académie des sciences*, XXX (1850), 551-60; y "Detection of the Free Neutrino: A Confirmation", de C. L. Cowan, *Science*, CXXIV (1956), 103-4. <<

[3-4] J. H. Poynting revisa unas dos docenas de mediciones de la constante gravitacional entre 1741 y 1901, en “Gravitation Constant and Mean Density of the Earth”, *Encyclopædia Britannica* (11a ed.; Cambridge, 1910-11), XII, 38549. <<

[3-5] Para la conversión plena de conceptos hidrostáticos a la neumática, véase *The Physical Treatises of Pascal*, trad, de I. H. B. Spiers y A. G. H. Spiers, con una introducción y notas de F. Barry (Nueva York, 1937). La presentación original que hizo Torricelli del paralelismo (“Vivimos sumergidos en el fondo de un océano del elemento aire”) se presenta en la p. 164. Su rápido desarrollo se muestra en los dos tratados principales. <<

[3-6] Duane Roller y Duane H. D. Roller, *The Development of the Concept of Electric Charge: Electricity from the Greeks to Coulomb* (“Harvard Case Histories in Experimental Science”, Caso 8; Cambridge, Mass., 1954), páginas 66-80. <<

[3-7] Para obtener ejemplos, véase “The Function of Measurement in Modern Physical Science”, de T. S. Kuhn, *Isis*, LII (1961), 161-93. <<

[3-8] T. S. Kuhn, “The Caloric Theory of Adiabatic Compression”, *Isis*, XLIX (1958), 132-40. <<

[3-9] Wolf, *op. cit.*, pp. 75-81, 96-101; y William Whewell, *History of the Inductive Sciences* (ed. rev.; Londres, 1847), II, 213-71. <<

[3-10] René Dugas, *Histoire de la Mecanique* (Neuchatel, 1950), Libros IV-V. <<

[4-1] Las frustraciones motivadas por el conflicto entre el papel del individuo y el patrón general del desarrollo científico pueden ser a veces, sin embargo, muy serias. Sobre este tema, véase “Some Unsolved Problems of the Scientific Career”, de Lawrence S. Kubie, *American Scientist*, XLI (1953), 596-613; y XLII (1954), 104-12. <<

[4-2] Para obtener un breve informe de la evolución de esos experimentos, véase la p. 4 de la conferencia de C. J. Davisson, en *Les prix Nobel en 1937* (Estocolmo, 1938). <<

[4-3] W. Whewell, *History of the Inductive Sciences* (ed. rev.; Londres, 1847), II, 101-5, 220-22. <<

[4-4] Debo esta pregunta a W. O. Hagstrom, cuyo trabajo en la sociología de la ciencia coincide a veces con el mío. <<

[4-5] Sobre este aspecto del newtonianismo, véase *Franklin and Newton: An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof*, de I. B. Cohen, (Filadelfia, 1956), capítulo vii, sobre todo las pp. 255-57, 275-77. <<

[4-6] Este ejemplo es examinado detalladamente hacia el final de la Sección X. <<

[4-7] H. Metzger, *Les doctrines chimiques en France du début du XVIIe siècle à la fin du XVIIIe siècle* (París, 1923), pp. 359-61; Marie Boas, *Robert Boyle and Seventeenth Century Chemistry* (Cambridge, 1958), pp. 112-15. <<

[4-8] Leo Königsberger, *Hermann van Helmholtz*, trad, de Francis A. Welby (Oxford, 1906), pp. 65-66. <<

[4-9] James E. Meinhard, “Chromatography: A Perspective”, *Science*, CX (1949), 387-92. <<

[4-10] Sobre el corpuscularismo en general, véase “The Establishment of the Mechanical Philosophy”, de Mane Boas, *Osiris*, X (1952), 412-541. Sobre sus efectos en la química de Boyle, véase “Robert Boyle and Structural Chemistry in the Seventeenth Century”, de T. S. Kuhn, *Isis*, XLIII (1952), 12-36. <<

[5-1] Michael Polanyi ha desarrollado brillantemente un tema muy similar, arguyendo que gran parte del éxito de los científicos depende del "conocimiento tácito", o sea, del conocimiento adquirido a través de la práctica y que no puede expresarse de manera explícita. Véase su obra *Personal Knowledge* (Chicago, 1958), sobre todo los capítulos v y vi. <<

[5-2] Ludwig Wittgenstein, *Philosophical Investigations*, trad. G. E. M. Anscombe.(Nueva York, 1953), pp. 31-36. Sin embargo, Wittgenstein no dice casi nada sobre el tipo de mundo que es necesario para sostener el procedimiento de denominación que subraya. Por consiguiente, parte del punto que sigue no puede atribuírsele. <<

[5-3] Sobre la química, véase: *Les doctrines chimiques en France du début du XVIIe à la fin du XVIIIe siècle*, de H. Metzger (París, 1923), pp. 24-27, 146-149; y *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry*, de Mane Boas (Cambridge, 1958), capítulo ii. Sobre la geología, véase: “The Uniformitarian-Catastrophist Debate”, de Walter F. Cannon, *Isis*, LI (1960), 38-55; y *Genesis and Geology*, de C. C. Gillispie (Cambridge, Mass., 1951), caps. iv-v. <<

[5-4] Con respecto a las controversias sobre la mecánica cuántica, véase: *La crise de la physique quantique*, de Jean Ullmo (París, 1950), cap. II. <<

[5-5] Sobre la mecánica estadística, véase: *La théorie physique au sens de Boltzmann et ses prolongements modernes*, de René Rugas (Neuchatel, 1959), pp. 158-84, 206-19. Sobre la recepción del trabajo de Maxwell, véase: “Maxwell’s Influence in Germany”, de Max Planck, en *James Clerk Maxwell: A Commemoration Volume, 1831-1931* (Cambridge, 1931), pp. 45-65, sobre todo las pp. 58-63; y *The Life of William Thompson Baron Kelvin of Largs*, de Silvanus P. Thompson (Londres, 1910), II, 1021-27. <<

[5-6] Como ejemplo de la lucha con los aristotélicos, véase: “A Documentary History of the Problem of Fall from Kepler to Newton”, de A. Koyré, *Transactions of the American Philosophical Society*, XLV (1955), 329-95. Con respecto a los debates con los cartesianos y los leibnizianos, véase: *L’introduction des théories de Newton en France au XVIIIe siècle*, de Pierre Brunet (París, 1931); y From *the Closed World to the Infinite Universe*, de A. Koyré (Baltimore, 1957), cap. xi. <<

[5-7] El investigador era James K. Senior, con quien estoy en deuda por un informe verbal. Algunos puntos relacionados son estudiados en su obra: “The Vernacular of the Laboratory”, *Philosophy of Science*, XXV (1958), 163-68. <<

[6-1] Sobre la discusión del descubrimiento del oxígeno, que todavía es clásica, véase: *The Eighteenth-Century Revolution in Science. The First Phase*, de A. N. Meldrum (Calcuta, 1930), cap. v. Una revisión reciente, indispensable, que incluye un informe de la controversia sobre la prioridad, es: *Lavoisier, théoricien et expérimentateur*, de Maurice Daumas (París, 1955), caps. ii-iii. Para obtener un informe más completo y bibliografía, véase también "The Historical Structure of Scientific Discovery", de T. S. Kuhn, *Science*, CXXXVI (1.º de junio de 1962), 760-64. <<

[6-2] No obstante, véase: “A Lost Letter from Secheele to Lavoisier”, de Uno Bocklund, *Lychnos*, 1957-58, pp. 39-62 para estudiar una evaluación diferente del papel desempeñado por Scheele. <<

[6-3] B. Conant, *The Overthrow of the Phlogiston Theory: The Chemical Revolution of 1775-1789* (“Harvard Case Histories in Experimental Science”, Caso 2; Cambridge, Mass., 1950), p. 23. Este folleto, muy útil, reproduce muchos de los documentos importantes. <<

[6-4] H. Metzger, *La philosophie de la matière chez Lavoisier* (París, 1935); y Daumas, *op. cit*., cap. vii. <<

[6-5] El informe más serio sobre el origen del descontento de Lavoisier es el de Henry Guerlac, *Lavoisier. The Crucial Year: The Background and Origin of His First Experiments on Combustión in 1772* (Ithaca, N. Y., 1961). <<

[6-6] L. W. Taylor, *Physics, the Pioneer Science* (Boston, 1941), pp. 790-94; y T. W. Chalmers, *Historic Researches* (Londres, 1949), pp. 218-19. <<

[6-7] E. T. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, I (2a ed.; Londres, 1951), 358, nota 1. Sir George Thompson me ha informado de otra segunda aproximación. Advertido por placas fotográficas inexplicablemente veladas, Sir William Crookes estaba también en el camino del descubrimiento. <<

[6-8] Silvanus P. Thompson, *The Life of Sir William Thomson Baron Kelvin of Largs* (Londres, 1910), II, 1125. <<

[6-9] Conant, *op. cit.*, pp. 18-20. <<

[6-10] K. K. Darrow, “Nuclear Fission”, *Bell System Technical Journal*, XIX (1940), 267-89. El criptón, uno de los dos productos principales de la fisión, no parece haber sido identificado por medios químicos sino después de que se comprendió bien la reacción. El bario, el otro producto, casi fue identificado químicamente en una etapa final de la investigación debido a que ese elemento tuvo que añadirse a la solución radiactiva para precipitar el elemento pesado que buscaban los químicos nucleares. El fracaso para separar ese bario añadido del producto radiactivo condujo, finalmente, después de investigar repetidamente la reacción durante casi cinco años, al siguiente informe: “Como químicos, esta investigación debería conducirnos… a cambiar todos los nombres del esquema [de reacción] precedente y a escribir Ba, La, Ce en lugar de Ra, Ac, Th. Pero, como ‘químicos nucleares’ con una relación estrecha con la física, no podemos decidirnos a ello, ya que contradiría todas las experiencias previas de la física nuclear. Puede ser que una serie de accidentes extraños haga que nuestros resultados no respondan a lo esperado” (Otto Hahn y Fritz Strassman, “Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehended Erdalkalimetalle”, *Die Naturwissenschalten*, XXVII (1939), 15). <<

[6-11] Para ver varias etapas de la evolución de la botella de Leyden, véase: *Franklin and Newton: An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof*, de I. B. Cohen (Filadelfia, 1956, pp. 385-86, 400-406, 452-67, 506-7). La última etapa es descrita por Whittaker, *op. cit*., pp. 50-52. <<

[6-12] J. S. Bruner y Leo Postman, “On the Perception of Incongruity: A Paradigm”, *Journal of Personality*, XVIII (1949), 206-23. <<

[6-13] *Idem*, p. 218. Mi colega Postman me dijo que, aunque conocía de antemano todo sobre el aparato y la presentación, se sintió, no obstante, muy incómodo al mirar las cartas anómalas. <<

[7-1] A. R. Hall, *The Scientific Revolution, 1500-1800* (Londres, 1954), p. 16. <<

[7-2] Marshall Clagett, *The Science of Mechanics in the Middle Ages* (Madison, Wis., 1959), Partes II-III. A. Koyré muestra una serie de elementos medievales en el pensamiento de Galileo, en sus *Études Galiléennes* (París, 1939), sobre todo el Vol-I. <<

[7-3] Sobre Newton, véase "Newton's Optical Papers", en *Isaac Newton's Papers and Letters in Natural Philosophy*, de T. S. Kuhn, ed. I. B. Cohen (Cambridge, Mass., 1958), pp. 27-45. Para el preludio de la teoría de las ondas, véase: *A History of the Theories of Aether and Electricity*, I, de E. T. Whittaker (2a ed.; Londres, 1951), 94-109; y *History of the Inductive Sciences*, de W. Whewell (ed. rev.; Londres, 1847), II, 396-466. <<

[7-4] Sobre la termodinámica, véase: *Life of William Thomson Baron Kelvin of Largs*, de Silvanus P. Thompson (Londres, 1910). Sobre la teoría cuántica, véase: *The Quantum Theory*, de Fritz Reiche, trad. H. S. Hatfield y H. L. Brose (Londres, 1922), caps. i-ii. <<

[7-5] J. L. E. Dreyer, *A History of Astronomy from Thales to Kepler* (2a ed.; Nueva York, 1953), caps, xi-xii. <<

[7-6] *The Copernican Revolution*, T. S. Kuhn (Cambridge, Mass., 1957), pp. 13543. <<

[7-7] J. R. Partington, *A Short History of Chemistry* (2a ed.; Londres, 1951), pp. 48-51, 73-85, 90-120. <<

[7-8] Aunque su principal interés se concentra en un periodo ligeramente posterior, hay mucho material importante diseminado en la obra de J. R. Partington y Douglas McKie, “Historical Studies on the Phlogiston Theory”, *Annals of Science*, II (1937), 361-404; III (1938), 1-58, 337-71; y IV (1939), 337-71. <<

[7-9] H. Guerlac, *Lavoisier; The Crucial Year* (Ithaca, N. Y., 1961). Todo el libro documenta la evolución y el primer reconocimiento de una crisis. En la página 35 puede verse un enunciado claro de la situación con respecto a Lavoisier. <<

[7-10] Max Jammer, *Concepts of Space: The History of Theories of Space in Physics* (Cambridge, Mass., 1954), pp. 114-24. <<

[7-11] Joseph Larmor, *Aether and Matter… Including a Discussion of the Influence of the Earth's Motion on Optical Phenomena* (Cambridge, 1900), pp. 6-20, 320-22. <<

[7-12] R. T. Glazebrook, *James Clerk Maxwell and Modern Physics* (Londres, 1896), cap. ix. Sobre la actitud final de Maxwell, véase su propio libro: *A Treatise on Electricity and Magnetism* (3a ed., Oxford, 1892), p. 470. <<

[7-13] Sobre el papel de la astronomía en el desarrollo de la mecánica, véase Kuhn, *op. cit*., cap. vii. <<

[7-14] Whittaker, *op. cit*.. I, 386410; y II (Londres, 1953), 27-40. <<

[7-15] Sobre el trabajo de Aristarco, véase: *Aristarchus of Samos: The Ancient Copernicus*, de T. L. Heath (Oxford, 1913), Parte II. Para un enunciado extremo sobre la posición tradicional con respecto al desdén por la posición de Aristarco, véase: *The Sleepwalkers: A History of Man's Changing Vision of the Universe* (Londres, 1959), p. 50. <<

[7-16] Partington, *op. cit*., pp. 78-85. <<

[8-1] Véase sobre todo la discusión en *Patterns of Discovery*, de N. R. Hanson (Cambridge, 1958), pp. 99-105. <<

[8-2] T. S. Kuhn, "The Essential Tensión: Tradition and Innovation in Scientific Research", en *The Third (1959) University of Utah Research Conference on the Identification of Creative Scientific Talent*, ed. Calvin W. Taylor (Salt Lake City, 1959), pp. 162-77. Sobre un fenómeno comparable entre los artistas, véase "The Psychology of Imagination", de Frank Barron, *Scientific American*, CXCIX (Septiembre de 1958), 151-66, sobre todo 160. <<

[8-3] W. Whewell, *History of the Inductive Sciences* (ed. rev.; Londres, 1847), II, 220-21. <<

[8-4] Sobre la velocidad del sonido, véase “The Caloric Theory of Adiabatic Compression”, de T. S. Kuhn, *Isis*, XLIV (1958), 136-37. Sobre el desplazamiento del perihelio de Mercurio, véase: *A History of the Theories of Aether and Electricity*, de E. T. Whittaker, II (Londres, 1953), 151,179. <<

[8-5] Citado en *The Copernican Revolution*, de T. S. Kuhn (Cambridge, Mass., 1957), p. 138. <<

[8-6] Albert Einstein, “Autobiographical Note”, en *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, ed. P. A. Schilpp (Evanston, III, 1949), p. 45. <<

[8-7] Ralph Kronig, “The Turning Point”, en *Theoretical Physics in the Twentieth Century: A Memorial Volume to Wolfgang Pauli*, ed. M. Fierz y V. F. Weisskopf (Nueva York, 1960), pp. 22, 25-26. Gran parte de este artículo describe la crisis de la mecánica cuántica en los años inmediatamente anteriores a 1925. <<

[8-8] Herbert Butterfield, *The Origins of Modern Science, 1300-1800* Londres, 1949, pp. 1-7. <<

[8-9] Hans, *op. cit.*, cap. i. <<

[8-10] Para un informe del trabajo de Kepler sobre Marte, véase: *A History of Astronomy from Thales to Kepler*, de J. L. E. Dreyer (2a ed.; Nueva York, 1953), pp. 380-93. Las inexactitudes ocasionales no impiden que la obra de Dreyer nos proporcione el material que necesitamos. Sobre Priestley, véase su propia obra, sobre todo. *Experiments and Observations on Different Kinds of Air* (Londres, 1774-75). <<

[8-11] Con respecto al contrapunto filosófico que acompañó a la mecánica del siglo XVII, véase: *La mécanique au XVIIe siècle* (Neuchatel, 1954), de Rene Dugas, sobre todo el capítulo XI. Con respecto al episodio similar del siglo XIX, véase el libro anterior del mismo autor, *Histoire de la mécanique* (Neuchatel, 1950), pp. 419-43. <<

[8-12] T. S. Kuhn, “A Function for Thought Experiments”, en *Melanges Alexandre Koyré*, ed. R. Taton e I. B. Cohen, que debía publicar Hermann (Paris), en 1963. <<

[8-13] Con respecto a los nuevos descubrimientos ópticos en general, véase: *Histoire de la lumière* de V. Ronchi (París, 1956), cap. vii. Con respecto a la explicación inicial de uno de esos efectos, véase: *The History and Present State of Discoveries Relating to Vision, Light and Colours* de J. Priestley (Londres, 1772), pp. 498-520. <<

[8-14] Einstein, *loc. cit*. <<

[8-15] Esta generalización sobre el papel de la juventud en la investigación científica fundamental es tan común como una frase gastada. Además, una mirada a casi cualquier lista de contribuciones fundamentales a la teoría científica, proporcionará una confirmación muy clara. Sin embargo, esa generalización hace muy necesaria una investigación sistemática. Harvey C. Lehman *(Age and Achievement* [Princeton, 1953]) proporciona muchos datos útiles; pero sus estudios no tratan de aislar contribuciones que involucren un reenunciado fundamental. Tampoco pregunta nada sobre las circunstancias especiales, si las hay, que puedan acompañar a la productividad relativamente tardía en las ciencias. <<

[9-1] Silvanus P. Thomson, *Life of William Thomson Baron Kelvin of Largs* (Londres, 1910), I, 266-81. <<

[9-2] Véanse, por ejemplo, las observaciones de P. P. Wiener, en *Philosophy of Science*, XXV (1958), 298. <<

[9-3] James B. Conant, *Overthrow of the Phlogiston Theory* (Cambridge, 1950), pp. 13-16; y J. R. Partington, *A Short History of Chemistry* (2a ed.; Londres, 1951), pp. 85-88. El informe más completo y simpático sobre los logros de la teoría del flogisto lo hace H. Metzger, en *Newton, Stahl. Boerhaave et la doctrine chimique* (Paris, 1930), 2a Parte. <<

[9-4] Compárense las conclusiones obtenidas por medio de un tipo muy diferente de análisis, por R. B. Braithewaite, *Scientific Explanation* (Cambridge, 1953), pp. 50-87, sobre todo la p. 76. <<

[9-5] Sobre el corpuscularismo en general, véase “The Establishment of the Mechanical Philosophy”, de Marie Boas. *Osiris*, X (1952), 412-541. Sobre el efecto de la forma de las partículas sobre el gusto, véase *idem*., p. 483. <<

[9-6] Dugas, *La mécanique au XVIIe siècle* (Neuchatel, 1954), pp. 177-85, 284-98, 345-56. <<

[9-7] I. B. Cohen, *Franklin and Newton: An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof* (Filadelfia, 1956), caps, vi-vii. <<

[9-8] Sobre la electricidad, véase *idem*, caps, viii-ix. Sobre la química, véase Metzger, *op. cit*., la Parte. <<

[9-9] E. Meyerson, *Identity and Reality* (Nueva York, 1930), cap. x. <<

[9-10] E. T. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, II (Londres, 1953), 28-30. <<

[9-11] Sobre una tentativa brillante y absolutamente al día de encajar el desarrollo científico en este lecho de Procusto, véase *The Edge of Objectivity: An Essay in the History of Scientific Ideas*, de C. C. Gillispie (Princeton, 1960). <<

[10-1] Los experimentos originales fueron llevados a cabo, por George M. Stratton, “Vision without Inversion of the Retinal Image”, *Psychological Review*, IV (1897), 341-60, 463-81. Una revisión más al día es proporcionada por Harvey A. Carr, en *An Introduction to Space Perception* (Nueva York, 1935), pp. 18-57. <<

[10-2] Para ejemplos, véase “The Influence of Suggestion on the Relationship between Stimulus Size and Perceived Distance”, de Albert H. Hastrof. *Journal of Psychology*, XXIX (1950). 195-217; y “Expectations and the Perception of Color”, de Jerome S. Bruner, Leo Postman y John Rodrigues, *American Journal of Psychology*, LXIV (1951), 216-27. <<

[10-3] N. R. Hanson. *Patterns of Discovery* (Cambridge, 1958), cap. I. <<

[10-4] Peter Doig, *A Concise History of Astronomy* (Londres, 1950), pp. 115-16. <<

[10-5] Rudolph Wolf, *Geschichte der Astronomic* (Munich. 1877), pp. 513-15. 683-93. Nótese, principalmente, lo difícil que hace el informe de Wolf el explicar esos descubrimientos como consecuencias de la ley de Bode. <<

[10-6] Joseph Needham, *Science and Civilization in China*, III (Cambridge, 1959), 423-29, 434-36. <<

[10-7] T. S. Kuhn, *The Copernican Revolution* (Cambridge, Mass., 1957), pp. 206-9. <<

[10-8] Duane Roller y Duane H. D. Roller, *The Development of the Concept of Electric Charge* (Cambridge, Mass., 1954),pp.21-29. <<

[10-9] Véase la discusión, en la Sección VII, y la literatura indicada en esa sección en la nota número 9. <<

[10-10] Galileo Galilei, *Dialogues Concerning Two New Sciences*, trad. H. Crew y A. de Salvio (Evanston, III, 1946), pp. 80-81, 162-66. <<

[10-11] *Ibid.*, pp. 91-94, 244. <<

[10-12] M. Clagett, *The Science of Mechanics in the Middle Ages* (Madison, Wis., 1959), pp. 537-38, 570. <<

[10-13] Jacques Hadamard, *Subconscient intuition, et logique dans la recherche scientifique. Conférence faite au Palais de la Découverte le 8 Décembre 1945* (Alençon, s. f.), pp. 7-8. Un informe mucho más completo, aunque restringido a las innovaciones matemáticas, es la obra del mismo autor: *The Psychology of Invention in the Mathematical Field* (Princeton, 1949). <<

[10-14] T. S. Kuhn, "A Function for Thought Experiments", en *Mélanges Alexandre Koyré*, ed. R. Taton e I. B. Cohen, que deberá ser publicado por Hermann (París) en 1963. <<

[10-15] A. Koyré, *Études Galiléennes* (París, 1939), I, 46-51; y “Galileo and Plato”, *Journal of the History of Ideas*, IV (1943), 400-428. <<

[10-16] Kuhn, “A Function for Thought Experiments”, en *Mélanges Alexandre Koyré* (véase la cita completa en la nota 14). <<

[10-17] Koyré, *Études*…, II, 7-11. <<

[10-18] Clagett, *op. cit.*, capítulos iv, vi y ix. <<

[10-19] N. Goodman, *The Structure of Appearance* (Cambridge, Mass., 1951). Merece la pena citar el pasaje de manera más extensa: “Si todos los residentes en Wilmington y sólo ellos, en 1947, que pesaran entre 175 y 180 libras, tuvieron el pelo rojo, entonces ‘los residentes de Wilmington en 1947 que tuvieran el cabello rojo’ y ‘los residentes de Wilmington en 1947 que pesaran entre 175 y 180 libras’ podrían reunirse en una definición construecional… La pregunta de si ‘hubiera podido haber’ alguien a quien se aplicara uno pero no el otro de esos predicados no tendría razón de ser… una vez que hemos determinado que no había ninguna persona de ese tipo… Es afortunado que no haya ninguna otra cosa que se ponga en duda; ya que la noción de los casos ‘posibles’, que no existen pero pudieron haber existido, está lejos de ser clara”. <<

[10-20] H. Metzger, *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique* (París, 1930), pp. 34-68. <<

[10-21] *Ibid*., pp. 124-29, 139-48. Sobre Dalton, véase Leonard K. Nash, *The Atomic Molecular Theory* (“Harvard Case Histories in Experimental Science”, Caso 4; Cambridge, Mass., 1950), pp. 14-21. <<

[10-22] J. R. Partington, *A Short History of Chemistry* (2a ed.; Londres, 1951), pp. 161-63. <<

[10-23] A. N. Meldrum, “The Development of the Atomic Theory: (1) Berthollet’s Doctrine of Variable Proportions”, *Manchester Memoirs*, LIV (1910), 1-16. <<

[10-24] L. K. Nash, “The Origin of Dalton’s Chemical Atomic Theory”, *Isis*, XLVII (1956), 101-16. <<

[10-25] A. N. Meldrum, “The Development of the Atomic Theory: (6) The Reception Accorded to the Theory Advocated by Dalton”. *Manchester Memoirs*, LV (1911), 1-10 <<

[10-26] Sobre Proust, véase “Berthollet’s Doctrine of Variable Proportions”, de Meldrum, *Manchester Memoirs*, LIV (1910), 8. La historia detallada de los cambios graduales en las mediciones de la composición química y de los pesos atómicos no ha sido escrita todavía; pero Partington, *op. cit.*, proporciona muchas indicaciones útiles. <<

[11-1] L. K. Nash, “The Origins of Dalton’s Chemical Atomic Theory”, *Isis*, XLVII (1956), 101-16. <<

[11-2] Sobre la observación de Newton, véase *Sir Isaac Newton's Mathematical Principles of Natural Philosophy and His System of the World*, de Florian Cajori (ed.) (Berkeley, California, 1946), p. 21. El pasaje debe compararse con la propia discusión hecha por Galileo en su obra *Dialogues concerning Two New Sciences*, trad. H. Crew y A. de Salvio (Evanston, III., 1946), pp. 154-76. <<

[11-3] T. S. Kuhn, “Robert Boyle and Structural Chemistry in the Seventeenth Century”, *Isis*, XLIII (1952), 26-29. <<

[11-4] Marie Boas, en su obra *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry* (Cambridge, 1958) trata, en muchos puntos, de las contribuciones hechas por Boyle a la evolución del concepto de elemento químico. <<

[12-1] Para obtener un bosquejo breve de los principales caminos que conducen a las teorías de la verificación probabilistas, véase *Principles of the Theory of Probability*, Vol. I, núm. 6, de Ernest Nagel, *International Encyclopedia of Unified Science*, pp. 60-75. <<

[12-2] K. R. Popper, *The Logic of Scientific Discovery* (Nueva York, 1959), sobre todo los caps. i-iv. Versión al español: *La lógica del descubrimiento científico*. Ed. Tecnos. <<

[12-3] Sobre las reacciones de los profanos ante el concepto del espacio curvo, véase *Einstein, His Life and Times*, de Philipp Frank, trad. y ed. por G. Rosen y S. Kusaka (Nueva York, 1947), pp. 142-46. Sobre algunos de los intentos hechos para preservar los triunfos de la relatividad general dentro de un espacio euclideano, véase *Einstein and the universe*, de C. Nordmann, trad. J. McCabe (Nueva York, 1922), cap. ix. <<

[12-4] T. S. Kuhn, *The Copernican Revolution* (Cambridge, Mass., 1957), caps, iii, iv y vii. Uno de los temas principales de todo el libro es el punto sobre hasta dónde el heliocentrismo fue algo más que una cuestión estrictamente astronómica. <<

[12-5] Max Jammer, *Concepts of Space* (Cambridge, Mass., 1954), pp. 118-24. <<

[12-6] I. B. Cohen, *Franklin and Newton: An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof* (Filadelfia, 1956), pp. 93-94. <<

[12-7] Charles Darwin, *On the Origin of Species*… (edición autorizada de la 6a ed. inglesa; Nueva York, 1889), II,295-96. <<

[12-8] Max Planck, *Scientific Autobiography and Other Papers*, trad. F. Gaynor (Nueva York, 1949), pp. 33-34. <<

[12-9] Con respecto al papel del culto al Sol en el pensamiento de Kepler, véase *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*, de E. A. Burtt (ed. rev.; Nueva York, 1932), pp. 44-49. <<

[12-10] Sobre el papel de la reputación, tómese en consideración lo siguiente: Lord Rayleigh, en una época en que su reputación estaba ya bien establecida, sometió a la Asociación Británica un documento sobre varias paradojas de la electrodinámica. Por inadvertencia, su nombre fue omitido cuando se envió el documento por primera vez y dicho escrito fue primeramente rechazado como obra de algún "hacedor de paradojas". Poco después, con el nombre del autor en su lugar, el documento fue aceptado con toda clase de excusas (R. J. Strutt, 4.º Barón Rayleigh, *John William Strutt, Third Baron Rayleigh* [Nueva York, 1924], p. 228). <<

[12-11] Con respecto a los problemas creados por la teoría cuántica, véase *The Quantum Theory*, de F. Reiche (Londres, 1922), caps, ii, vi-ix. Con respecto a los demás ejemplos de este párrafo, véanse las referencias anteriores de esta sección. <<

[12-12] Kuhn, *op. cit*., pp. 219-25. <<

[12-13] E. T. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, I (2a ed.; Londres, 1951), 108. <<

[12-14] Véase *ibid*., II (1953), 151-80, sobre el desarrollo de la relatividad general. Con respecto a la reacción de Einstein sobre el acuerdo preciso de la teoría con el movimiento observado del perihelio de Mercurio, véase In carta citada en *Albert Einstein*, *Philosopher-Scientist*, de P. A. Schilpp (ed.), Evanston, III., 1949), p. 101. <<

[12-15] Con respecto al sistema de Brahe que, desde el punto de vista geométrico, era absolutamente equivalente al de Copérnico, véase *A History of Astronomy from Thales to Kepler*, de J. L. E. Dreyer (2a ed.; Nueva York, 1953), pp. 359-71. Con respecto a las últimas versiones de la teoría del flogisto y sus éxitos, véase “Historical Studies on the Phlogiston Theory”, de J. R. Partington y D. McKie, *Annals of Science*, IV (1939), 113-49. <<

[12-16] Sobre el problema presentado por el hidrógeno, véase *A Short History of Chemistry*, de J. R. Partington (2a ed.; Londres, 1951), p. 134. Sobre el monóxido de carbono, véase *Geschichte der Chemie*, III (Braunschweig, 1845), 294-96. <<

[13-1] E. H. Gombrich, *Art and Illusion: A Study in the Psychology of Pictorial Representation* (Nueva York, 1960), pp. 11-12. <<

[13-2] *Idem.*, p. 97; y Giorgio de Santillana, “The Role of Art in the Scientific Renaissance”, en *Critical Problems in the History of* Science, ed. M. Clagett (Madison, Wis., 1959), pp. 33-65. <<

[13-3] Los historiadores de la ciencia encuentran frecuentemente esa ceguera en una forma particularmente llamativa. El grupo de estudiantes que llega a ellos procedente de las ciencias es, muy a menudo, el mejor grupo al que enseñan. Pero es también el que más frustraciones proporciona al comienzo. Debido a que los estudiantes de ciencias “conocen las respuestas correctas”, es particularmente difícil hacerles analizar una ciencia más antigua en sus propios términos. <<

[13-4] Loren Eiseley, Darwin’s Century: Evolution and the Men Who Discovered It (Nueva York, 1958), caps. ii, iv-v. <<

[13-5] Con respecto a un informe particularmente agudo de la lucha de un darwinista prominente con este problema, véase *Asa Gray, 1810-1888*, de A. Hunter Dupree (Cambridge, Mass., 1959), pp. 295-306, 355-83. <<

[pd-1] Esta posdata fue preparada originalmente a sugerencia del que fue mi alumno y por mucho tiempo mi amigo, Dr. Shigeru Nakayama, de la Universidad de Tokio, para incluirla en la versión japonesa de este libro. Le estoy agradecido por su idea, por su paciencia al esperar sus resultados y por su permiso para incluir su resultado en la edición en idioma inglés. <<

[pd-2] Para esta edición he procurado limitar las alteraciones a unos cuantos errores tipográficos, dos pasajes que contienen errores aislados, y no dar una nueva versión. Uno de estos errores es la descripción del papel de los *Principia* de Newton en el desarrollo de la mecánica del siglo XVIII, de las pp. 62-65. Los otros se refieren a las respuestas a la crisis, en la pp. 138. <<

[pd-3] Otras indicaciones podrán encontrarse en dos de mis recientes ensayos: “Reflections on My Critics”, editado por Irme Lakatos y Alan Musgrave, *Criticism and the Growth of Knowledge* (Cambridge, 1970); y “Second Thoughts on Paradigms”, editado por Frederick Suppe, *The Structure of Scientific Theories* (Urbana, III, 1970 o 1971). Más adelante citaré el primero de estos ensayos como “Reflections” y al volumen en que aparece como *Growth of Knowledge*; el segundo ensayo será mencionado como “Second Thoughts”. <<

[pd-4] Para una crítica particularmente convincente de mi presentación inicial de los paradigmas véase: “The Nature of a Paradigm” en *Growth of Knowledge*, de Margaret Masterman; y “The Structure of Scientific Revolutions”, de Dudley Shapere, en *Philosophical Review*, LXXIII (1964), 383-94. <<

[pd-5] *The Scientific Community*, de W. O. Hagstrom (Nueva York 1965), caps. iv y v; “Collaboration in an Invisible College”, de D. J. Price y D. de B. Beaver, *American Psychologist*, XXI (1966), 1011-18; “Social Structure in a Group of Scientists: A Test of the ‘Invisible’ College Hypothesis” de Diana Crane. *American Sociological Review*, XXXIV (1969), 335-52; *Social Networks among Biological Scientists* de N. C. Mullins (Ph. D. Diss Harvard University, 1966) y “The Micro-Structure of an Invisible College: The Phage Group” (artículo presentado en la reunión anual de la American Sociological Association, Boston, 1968). <<

[pd-6] *The Use of Citation Data in Writing the History of Science*, de Eugene Garfield (Filadelfia: Institute of Scientific Information, 1964); “Comparison of the Results of Bibliographic Coupling and Analytic Subject Indexing”, de M. M. Kessler, *American Documentation*, XVI (1965) 223-33; “Networks of Scientific Papers”, de D. J. Price, *Science*, CIL (1965), 510-15. <<

[pd-7] Masterman, *op. cit*. <<

[pd-8] Para conocer partes significativas de este episodio véase “The Electric Current in Early Nineteenth-Century French Physics”, de T. M. Brown, *Historical Studies in the Physical Sciences*, I (1969), 61-103 y “Resistence to Ohm’s Law”, de Morton Schagrin, *American Journal of Physics*, XXI (1963), 536-47. <<

[pd-9] Véase particularmente: “Meaning and Scientific Change”, de Dudley Shapere, en *Mind and Cosmos: Essays in Contemporary Science and Philosophy*, The University of Pittsburgh Series in the Philosophy of Science, III (Pittsburgh, 1966), 41-85; *Science and Subjectivity*, de Israel Scheffler Nueva York, 1967); y el ensayo de Sir Karl Popper de Imre Lakatos en *Growth of Knowledge*. <<

[pd-10] Véase la discusión al principio de la sección XIII. <<

[pd-11] Véase un ejemplo en: *A History of Mechanics*, de René Dugas, traducción al inglés de J. R. Maddox (Neuchatel, 1955) pp. 135-36, 186-93, e *Hydrodynamica, sive de viribus et motibus fluidorum, commentarii opus academicum*, de Daniel Bernoulli (Estrasburgo, 1738), Sec. 3. Para ver el grado de desarrollo alcanzado por la mecánica durante la primera mitad del siglo XVIII, modelando una solución sobre otra, véase: “Reactions of Late Baroque Mechanics to Success, Conjecture, Error, and Failure in Newton’s *Principia*”, de Clifford Truesdell, *Texas Quarterly*, X (1967), pp. 238-58. <<

[pd-12] Alguna información sobre este tema puede encontrarse en “Second Thoughts”. <<

[pd-13] Nunca hubiera sido necesario establecer este punto si todas las leyes fueran como las de Newton y todas las reglas como los Diez Mandamientos. En tal caso, la frase “quebrantar una ley”, no tendría sentido y un rechazo de las reglas no parecería implicar un proceso no gobernado por leyes. Por desgracia las leyes de tránsito y productos similares de la legislación sí pueden quebrantarse, facilitando la confusión. <<

[pd-14] Para los lectores de “Second Thoughts”, las siguientes observaciones crípticas pueden servir de guía. La posibilidad de un reconocimiento inmediato de los miembros de las familias naturales depende de la existencia, después del procesamiento neural, del espacio perceptual vacío entre las familias que deben ser discriminadas. Si por ejemplo, hubiera un continuo percibido de las clases de aves acuáticas, desde los gansos hasta los cisnes, estaríamos obligados a introducir un criterio específico para distinguirlos. Algo similar puede decirse para entidades no observables. Si una teoría física sólo admite la existencia de una corriente eléctrica, entonces un pequeño número de normas, que pueden variar considerablemente de un caso a otro, sería suficiente para identificar la corriente, aun cuando no haya un conjunto de reglas que especifiquen las condiciones necesarias y suficientes para la identificación. El punto sugiere un corolario plausible, que puede ser más importante. Dado un conjunto de condiciones necesarias y suficientes para identificar una entidad teórica, esa entidad puede ser eliminada a partir de la ontología de una teoría por sustitución. Sin embargo, en ausencia de tales reglas, esas entidades no son eliminables; la teoría, entonces, exige su existencia. <<

[pd-15] Los puntos que siguen son tratados con mayor detalle en las secciones 5 y 6 de “Reflections”. <<

[pd-16] Ver los trabajos citados en la nota 9 y, también el ensayo de Stephen Toulmin en *Growth of Knowledge*. <<

[pd-17] La ya clásica fuente para la mayor parte de los aspectos pertinentes de la traducción es *Word and Object*, de W. V. O. Quine (Cambridge, Mass., y Nueva York, 1969). Caps., i y ii. Pero Quine parece considerar que dos hombres que reciben el mismo estímulo deben tener la misma sensación, y por lo tanto tiene poco que decir sobre el grado que debe alcanzar un traductor para describir el mundo al que se aplica el lenguaje interpretado. Para ese último punto véase “Linguistics and Ethnology in Translation Problems”, de E. A. Nida en ed. Del Hymes, *Language and Culture in Society* (Nueva York, 1964), pp. 90-97. <<

[pd-18] “Structure of Scientific Revolutions”, de Shapere y Popper en *Growth of Knowledge*. <<

[pd-19] Para uno de los muchos ejemplos véase el ensayo de P. K. Feyerabend en *Growth of Knowledge*. <<

[pd-20] *Must We Mean What We Say?* de Stanley Cavell (Nueva York, 1969), cap. i. <<

[pd-21] Para este punto así como para un análisis más amplio de lo que es especial en las ciencias, ver: “Comment [on the Relations of Science and Art]”, de T. S. Kuhn, en *Comparative Studies in Philosophy and History*. XI (1969), pp. 403-12. <<